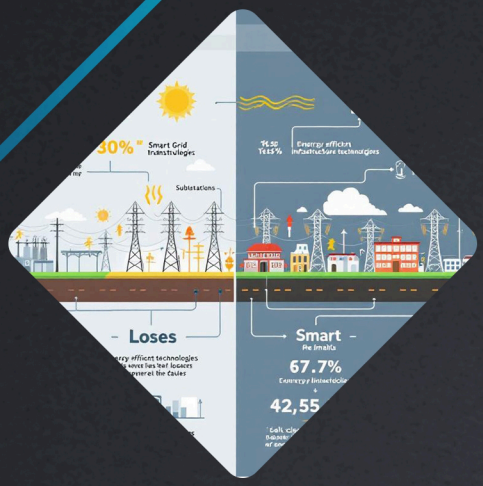
بهار ۱۴۰۴
سال چهاردهم
کهربا
شماره چهل و هفتم

فصلنامه تخصصی مهندسی برق و کامپیوتر

KAHROBA MAGAZINE
Journal of Electrical and Computer Engineering
شماره مجوز وزارت فرهنگ و ارشاداسلامی ۷۷۸۲۱
ISSN :2322-3723







۱–آشنایی با دکتر علی شریفی زارچی استاد کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف

۲–تحلیل جامع تلفات در شبکه توزیع برق و راهکارهای کاهش آن

۳–کنترل دینامیکی سرعت موتورBLDCبا استفاده از کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم شاهین هریس بر مبنای مدل المان محدود

۴–تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های برق هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین: چالش‌ها و راهکارهای نوین

۵– نقش هوش مصنوعی برای کشف نفوذ در سیستم های امنیتی

۶– بهبود تشخیص کارآمد چهره با کمک الگوریتم های بهینه سازی ترکیبی DBRO-GOA و شبکه عصبی کانولوشن عمیق

۷–مدل هوش مصنوعی برای بهبود انتخاب CH درWSNها: بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه با الگوریتم RDA

ISC
magiran
CIVILICA

صاحب‌امتیاز

نواندیشان

مدیرمسئول

مهدی عارف خیابانی

سردبیر

امین شیخ نجدی

هیئت تحریریه

دکتر جواد شکرالهی مغانی-دکترای برق قدرت-دانشیار دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران

دکتر امیرحسین رحمانی – دکترای برق قدرت- استاددانشگاه‌های جندی شاپور دزفول و آزاد اسلامی‌واحد درفول

دکتر ملیحه نیک سیرت- دکترای علوم کامپیوتر- استادیار دانشگاه صنعتی بیرجند

دکتر محمد دوستی زاده- دکترای برق قدرت- استاد دانشگاه آزاد اسلامی‌خرم آباد

دکتر موسی مجرد- دکترای کامپیوتر-نرم افزار – هیئت علمی‌دانشگاه فیروزآباد، رئیس دانشگاه آزاد اسلامی‌فراشبند

دکتر حامد سقایی- دکترای برق الکترونیک- دانشیار دانشگاه آزاداسلامی شهرکرد ، استادیار دانشگاه اهواز

دکتر آزاد رحیمی- دکترای برق قدرت- هیئت علمی(مربی) و مدیرگروه دانشگاه فنی و حرفه‌ای سنندج

مهندس امین شیخ نجدی-کارشناس ارشد برق الکترونیک-استادیار مدعو دانشگاه جندی شاپور دزفول و آزاداسلامی واحد دزفول،شهدای اهواز

مهندس محمدحسین دوست محمدی- کارشناسی ارشد برق الکترونیک – هیئت علمی(مربی) دانشگاه صنعتی همدان

دکتر محمود مقدسیان- دکترای برق قدرت- استادیار دانشگاه چمران اهواز

درباره کهربا ۴

یادداشت مدیرمسئول ۴

سخن سردبیر ۵

آشنایی با مشاهیر

آشنایی با دکتر علی شریفی زارچی– استاد کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف ۶

مقالات

کنترل دینامیکی سرعت موتور BLDC با استفاده از کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم شاهین هریس بر مبنای مدل المان محدود ۹

احسان قنواتی، دانشجوی کارشناسی ارشد برق، پردیس صنعتی شهدای هویزه، دانشگاه شهید چمران اهواز،ایران
محمود مقدسیان ، استادیار گروه برق ،پردیس صنعتی شهدای هویزه، دانشگاه شهید چمران اهواز ، ایران

تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های برق هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین : چالش‌ها و راهکارهای نوین ۲۵

علیرضا جوشن،کارشناسی ارشد برق قدرت-دانشگاه گیلان ،گیلان،ایران

مدل هوش مصنوعی برای بهبود انتخاب CH در VSNها: بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه با الگوریتم RDA ۳۳

طاهره جوانمردی، موسی مجرد گروه کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

بهبود تشخیص کارآمد چهره با کمک الگوریتم های بهینه سازی ترکیبی BRO–GOA و شبکه عصبی کانولوشن عمیق ۴۱

معصومه زمانی پور، محمدنبی امیدوار گروه کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

نقش هوش مصنوعی برای کشف نفوذ در سیستم های امنیتی ۵۰

شهاب ترکی، دانشجوی مهندسی کامپیوتر دانشگاه ملی مهارت شهرکرد،چهارمحال بختیاری،ایران

احسان سلیمانی، دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر دانشکده مهندسی دانشگاه ازاداسلامی واحد میبد

تحلیل جامع تلفات در شبکه توزیع برق و راهکارهای کاهش آن ۵۶
یوسف جعفرنژاد، کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر،تهران ،ایران
علیرضا عباسی، کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب ،تهران ،ایران

ارتباط با کهربا ۷۳

English Abstracts ۷۴

درباره کهربا

مجله الکترونیکی کهربا، با همت و تلاش جمعی از دانشجویان و مهندسین برق، بخصوص اعضای انجمن علمی و پژوهشی نواندیشان، در سال هزار و سیصد و نود شروع به کار کرد. کهربا از سال ۹۱ با کسب شماره بین‌المللی استاندارد مجلات (ISSN:۲۳۲۲-۳۷۲۳) و ثبت در سازمان اسناد و کتابخانه ملی ایران، به‌عنوان فصلنامه‌ای رسمی و تخصصی در حوزه صنعت برق شناخته‌شده است. این نشریه تخصصی در سال ۹۵ موفق به اخذ پروانه انتشار از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، با مجوز شماره ۷۷۸۲۱ و ثبت در سامانه جامع رسانه‌های کشور(e-rasaneh) و بانک اطلاعات نشریات کشور(magiran) گردید. در سال ۹۷ طی تفاهم‌نامه‌ای با بانک مقالات کشور (سیویلیکا) مورد حمایت این پایگاه قرارگرفته و مقالات ارائه‌شده به نشریه پس از انتشار در سیویلیکا نمایه شده و در نظام رتبه‌بندی دانشگاه‌ها و پژوهشگاه‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرند.در سال ۱۴۰۳ موفق به کسب امتیاز لازم جهت نمایه سازی نشریات موسسه استنادی و پایش علم و فناوری جهان اسلام (ISC) گردید.

یادداشت مدیرمسئول

اکنون که به سیزدهمین بهار فعالیت نشریه کهربا پا گذاشته‌ایم و چهل‌وهفتمین شماره این مجله تخصصی را پیش روی شما قرار می‌دهیم، خرسندیم که همچنان همراه و هم‌قدم با شما فرهیختگان و علاقه‌مندان به علوم مهندسی برق، الکترونیک و کامپیوتر هستیم.

از نخستین روز انتشار، هدف ما تهیه و ارائه مطالبی کاربردی، قابل فهم و درعین‌حال تخصصی بوده است؛ تا ضمن حفظ عمق علمی، بستری فراهم آوریم برای گسترش دانش و آگاهی در میان دانش‌پژوهان و مشتاقان این حوزه‌ها. امید داریم با راهنمایی‌ها، نقدها و حمایت‌های سازنده شما عزیزان، هر شماره نسبت به شماره پیشین پربارتر و حرفه‌ای‌تر گردد. به یاری همراهی و همت دوستان و همکارانمان، در تلاشیم تا گامی هرچند کوچک در مسیر ارتقای سطح دانش، رضایت شما خوانندگان گرامی، و شکوفایی علمی جامعه برداریم.

با آرزوی موفقیت و پیشرفت روزافزون برای شما عزیزان

سخن سردبیر:

شـــماره جدید مجله کهربا را در حالی به شـــما تقدیم می‌کنیم که بیش از هر زمان دیگری، پیوند عمیق فناوری‌های نوین با حوزه مهندســی برق و هوش مصــنوعی نمایان شــده اســت. مرزهای ســنتی میان الکترونیک قدرت، شــبکه‌های توزیع، امنیت ســایبری و ســیســـتم‌های هوشـــمند در حال محو شـــدن‌اند و آینده‌ای پیش رو داریم که در آن، توانمندی‌های محاســـباتی پیشـــرفته به قلب زیرساخت‌های حیاتی نفوذ کرده‌اند.

در این شــماره، مجموعه‌ای از مقالات پژوهشــی و تحلیلی گردآوری شــده‌اند که نه‌تنها نوآوری‌های علمی را به تصــویر می‌کشــند، بلکه نگاهی آینده‌نگر به چالش‌های کاربردی و صنعتی نیز دارند.

از کنترل دینامیکی ســرعت موتورهای BLDC با بهره‌گیری از کنترلر فازی بهینه‌شــده با الگوریتم‌های الهام‌گرفته از طبیعت، تا تحلیل دقیق تلفات شـــبکه‌های توزیع برق و ارائه راهکارهای اجرایی برای کاهش آن‌ها، ما در مســـیر پیوند دانش نظری با نیازهای روز دنیای واقعی قدم برداشته‌ایم.

همچنین، حضور پررنگ هوش مصنوعی در این شماره، با موضوعاتی چون بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های برق هوشمند، تشخیص نفوذ در سامانه‌های امنیتی، و افزایش بهره‌وری در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با الگوریتم‌های انتخاب خوشه‌سر، نویدبخش تحولاتی شگرف در حوزه‌های حیاتی و صنعتی است.

مقاله‌ای نیز به ترکیب الگوریتم‌های بهینه‌سازی پیشرفته با یادگیری عمیق برای تشخیص چهره پرداخته است که بیانگر گسترش نفوذ هوش مصنوعی به حوزه‌های تشخیص الگو و پردازش تصویر است.

امید داریم مطالب این شــماره، مورد توجه پژوهشــگران، متخصــصــان و علاقه‌مندان قرار گیرد و زمینه‌ســاز گفت‌وگوها و پژوهش‌های جدیدی در راستای ارتقای دانش بومی و پاسخ به نیازهای فناورانه کشور باشد.

آشنایی با دکتر علی شریفی زارچی– استاد کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف



علی شریفی زارچی عضو هیئت علمی هوش مصنوعی و بیوانفورماتیک دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف و رئیس کمیته علمی المپیاد جهانی کامپیوتر است. او اهل تهران و اصالتاً یزدی (زارچ یزد) است و تحصیلات دانشگاهی خود را در ایران و در دانشگاه شریف آغاز کرد. شریفی زارچی دوره‌های دکتری و پسادکتری خود را در دانشگاه‌های آلمان و آمریکا تکمیل کرده است. او از سال ۱۳۹۰ در پژوهشگاه «رویان» و از سال ۱۳۹۵ در دانشگاه شریف، مشغول به کار است. علی شریفی زارچی استادیار بیوانفورماتیک ریاضی دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف و رئیس کمیته علمی المپیاد جهانی کامپیوتر است. وی در شهریور ۱۴۰۲ از هیئت علمی دانشگاه صنعتی شریف اخراج گردید و از ابتدای سال تحصیلی بعد، با روی کار آمدن دولت جدید و دستور رئیس جمهور در بازنگری دانشجویان و اساتید اخراج شده، به دانشگاه بازگشت.

علی شریفی زارچی در حال حاضر استاد و عضو هیئت علمی دانشگاه شریف است و در زمینه‌هایی مانند هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، بیوانفورماتیک و... تحقیق و تدریس می‌کند. مهم‌ترین حوزه‌های تحقیقاتی او، به‌کارگیری الگوریتم و هوش مصنوعی برای تحلیل داده‌های زیست‌پزشکی و بیوانفورماتیک است. شریفی زارچی به دلیل فعالیت‌های اجتماعی خود در شبکه‌های اجتماعی مانند توییتر نیز معروف است. مقام فعلی او در دانشگاه شریف، استادیاری بیوانفورماتیک علوم ریاضی است.

شریفی زارچی در المپیاد جهانی کامپیوتر سال ۲۰۰۰ عضو تیم ملی دانش آموزی ایران بود و موفق به دریافت مدال طلا شد. شریفی دانش‌آموخته کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر از دانشگاه صنعتی شریف و دکتری بیوانفورماتیک از دانشگاه تهران است و همچنین دوره‌های پژوهشی و پسادکتری را در ماکس پلانک آلمان و دانشگاه دولتی آمریکا پشت سر گذاشته است. او از سال ۱۳۹۰ به عنوان پژوهشگر بیوانفورماتیک در پژوهشگاه رویان و همچنین از سال ۱۳۹۵ به عنوان عضو هیئت علمی دانشکدهٔ مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی شریف بود. او در دوران ریاست جمهوری روحانی در ایران با سمت رئیس مرکز مدیریت آمار و فناوری اطلاعات وزارت بهداشت مشغول به فعالیت بود.

شریفی زارچی، دیدگاه خود نسبت به هوش مصنوعی « «Artificial intelligenceرا مشابه با دیدگاه مردمی می‌داند که برای اولین بار با لامپ الکترونیک ادیسون مواجه شدند. او تفکر و تصمیم‌گیری هوش مصنوعی را در بعضی از جنبه‌ها هوشمندانه‌تر از انسان می‌داند. هوش مصنوعی در حوزه‌های بسیار زیادی کاربرد دارد و امروزه تقریباً به همه زمینه‌های زندگی انسان وارد شده است و به کار می‌رود.

نگاه شریفی زارچی به پایتون

زارچی، پایتون و شناخت الگوریتم‌ها را دروازه یادگیری هوش مصنوعی می‌داند. بر اساس مطلب پایتون « «Pythonمجله فرادرس، این زبان یک زبان برنامه‌نویسی محبوب، شیءگرا، متن‌باز و همه‌منظوره است که برای توسعه نرم‌افزار، توسعه وب سمت سرور، ریاضیات و محاسبات علمی، تجزیه داده‌ها، هوش مصنوعی، اسکریپت‌نویسی سیستم و... کاربرد دارد. در فهرست زیر ویژگی‌ها و تمایزهای پایتون از نظر علی شریفی زارچی را آورده‌ایم.

یکی از زیباترین و خواناترین زبان‌های برنامه‌نویسی از نظر نوشتاری است و فهم آن برای انسان راحت است.

از نظر شریفی زارچی، بهترین مدل‌های هوش مصنوعی موجود در دنیا با زبان پایتون نوشته شده‌اند.

یکی از بهترین زبان‌ها برای مسئله‌های الگوریتمی، زبان پایتون است.

پایتون به‌دلیل سادگی، بهترین گزینه برای شروع یادگیری برنامه‌نویسی است.

شریفی زارچی و تدریس بیوانفورماتیک

بیوانفورماتیک علمی میان‌رشته‌ای است که در آن، از تحلیل‌های ریاضی و با استفاده از نرم‌افزارهای رایانه‌ای برای تحلیل مسائل زیست شناسی و داده‌های زیستی استفاده می‌کنیم. شریفی زارچی در زمینه بیوانفورماتیک و انفورماتیک، تحقیقاتی انجام داده است. همچنین این مباحث را به‌صورت واحدهای درسی دانشگاهی تدریس کرده و می‌کند. مباحثی چون یادگیری ماشین برای بیوانفورماتیک و الگوریتم‌های بیوانفورماتیک از مباحث تحقیقی او در این زمینه هستند. در واقع بیشترین فعالیت علمی شریفی، استفاده از هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، زبان‌های برنامه‌نویسی و... برای تحلیل داده‌های پزشکی و زیستی است.

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های شریفی زارچی در حوزه سلامت، ساخت و توسعه نرم‌افزار ایرانی «ماسک» در زمان بیماری کرونا بوده است. زارچی با همراهی چندین متخصص دیگر در دانشگاه شریف و غیره این نرم‌افزار را در سال ۱۳۹۸ طراحی کردند که تا سال ۱۴۰۰ مهم‌ترین برنامه اطلاع‌رسانی درباره کرونا بود.

این اپلیکیشن، با دادن کد به هر فرد و هر مکان و با دسترسی به موقعیت مکانی افراد جامعه، ثبت وضعیت سلامت هر فرد و غیره، بیمارهای مبتلا به کرونا و مکان‌های تردد آن‌ها را مشخص می‌کرد و از این طریق، دیگر کاربران را برای مبتلا نشدن به این بیماری، مطلع می‌ساخت.

همچنین در اپلیکیشن ماسک، نقشه دقیق مبتلایان به کرونا در کل کشور با رنگ‌های مختلف، مشخص می شد. به این ترتیب، افراد می‌توانستند ملاحظه کنند که میزان آلودگی ساکنین هر منطقه به ویروس تا چه حد است و در کدام مناطق نیاز به اقدامات مراقبتی بیشتری وجود دارد.

بیوگرافی	توضیح
تولد	یزد / دهه ۶۰
مدال طلای المپیاد جهانی کامپیوتر	۲۰۰۰ میلادی
کارشناسی و کارشناسی ارشد	مهندسی کامپیوتر از دانشگاه صنعتی شریف
دکتری	بیوانفورماتیک دانشگاه تهران
پسادکتری	ماکس پلانک «Max Planck» آلمان و دانشگاه عمومی آمریکا «Colorado State University»
آغاز به کار در پژوهشگاه «رویان«	از سال ۱۳۹۰
عضویت در هیئت علمی دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه شریف	از سال ۱۳۹۵
طراحی نرم‌افزار ایرانی ماسک برای مقابله با کرونا	سال ۱۳۹۸
ریاست مرکز مدیریت آمار و فناوری اطلاعات وزارت بهداشت	دوران ریاست جمهوری حسن روحانی
بازگشت به دانشگاه و تدریس	شروع سال تحصیلی ۱۴۰۳ (در ریاست جمهوری پزشکیان(

KNO-1201-4701

کنترل دینامیکی سرعت موتور BLDC با استفاده از کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم شاهین هریس بر مبنای مدل المان محدود

احسان قنواتی[۱] ehsan1.ghanavati@yahoo.com

محمود مقدسیان[۲] m.moghadasian@scu.ac.ir

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد برق، پردیس صنعتی شهدای هویزه، دانشگاه شهید چمران اهواز

[۲] استادیار گروه برق ،پردیس صنعتی شهدای هویزه، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده : در این مقاله روشی جهت کنترل سرعت موتور BLDC با استفاده از درایو اینورتر شش سوئیچه ارائه شده است. در این روش جهت کنترل رفتار دینامیکی موتور (سرعت، جریان و گشتاور) از کنترلرهای PID و فازی استفاده شده و جهت تعیین پارامترهای کنترلرها از الگوریتم HHO به علت سرعت و دقت بالا در حل مسایل بهینه سازی بهره گرفته شده است. برای بررسی عملکرد کنترل کننده والگوریتم پیشنهادی شبیه سازی با تابع هدف ITAE و در محیط سیمولینک نرم افزار MATLAB صورت گرفته و نتایج شبیه سازی برای کنترلرهای PID و فازی با الگوریتم‌های GWO، TLBO و HHO با هم مقایسه شده است. بررسی نتایج شبیه سازی‌ها بیانگر برتری کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم HHO نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد. همچنین جهت اطمینان از صحت نتایج بدست آمده در MATLAB، مدل موتور در ANSYS/Maxwell نیز بر مبنای مدل المان محدود بررسی شده است.

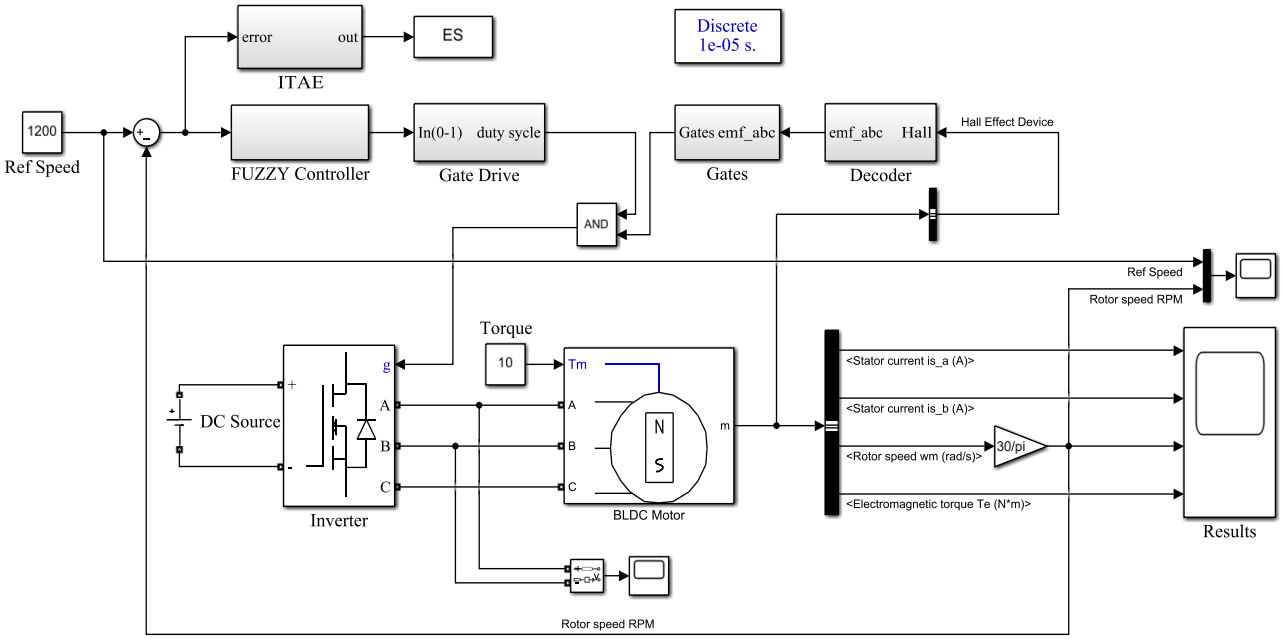
کلید واژه‌ها: موتور BLDC، کنترلر فازی، الگوریتم شاهین هریس

۱.مقدمه

یک موتور، انرژی الکتریکی مصرفی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند. انواع مختلفی از موتورها در صنعت مورد استفاده قرار میگیرند که در بین آنها، موتورهای جریان مستقیم بدون جاروبک[1]به دلیل ویژگیهای بارزی همچون قابلیت کنترل‌پذیری، بهره وری و راندمان بالا، حذف کماتاتور[2] مکانیکی و بهره‌مندی از کموتاسیون الکترونیکی و در نتیجه کاهش تلفات اصطکاک و سایر مشکلات کماتاتور مکانیکی و بعلاوه قابلیت استفاده در سرعت های بالا، گشتاور بالا با وابستگی کمتر گشتاور خروجی نسبت به دور موتور و... با استقبال فراوانی در کاربردهای متنوع از جمله لوازم خانگی، رباتیک، صنایع سخت افزار کامپیوتر، صنایع نظامی، حمل و نقل، دستگاه های CNC و... روبرو شده اند. لذا یافتن روش های کنترل سرعت دقیق و بهینه این موتورها به عنوان یک مسئله مهم همواره مورد توجه محققان این حوزه قرار دارند. با این حال، کنترل دینامیکی سرعت در این موتورها به دلیل ماهیت غیرخطی سیستم، تغییرات بار، اغتشاشات محیطی و پارامترهای متغیر موتور با چالش‌های فراوانی روبه‌رو است [1],[2],[3]. در گذشته به علت عدم پیشرفت مباحث الکترونیک قدرت و انواع مبدل ها و متعاقباً محدودیت در تولید ولتاژ با فرکانس‌های مختلف و قابل کنترل، موتورهای BLDC چندان مورد توجه نبوده اند ولی امروزه با پیشرفت در حوزه الکترونیک قدرت و امکان تولید ولتاژ با فرکانس های متنوع مورد نیاز امکان راه اندازی و کنترل موتورهای BLDC فراهم شده و این موتورها بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته اند. نمای کلی کنترل دور موتور BLDC در یک سیستم کنترل حلقه بسته در شکل-۱ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل-۱ مشخص است جهت تولید میدان قابل

[1] Brushless DC motor (BLDC)
[2] Commutator

کنترل در استاتور موتور BLDC از یک اینورتر (Inverter) شش سوئیچه جهت ایجاد کماتاسیون الکتریکی استفاده شده است [4]. جهت تنظیم Duty Cycle این مبدل، در یک سیستم کنترلی حلقه بسته استفاده شده است. جهت انتخاب کنترلر مناسب در سیستم کنترلی حلقه بسته از کنترلر های PID[3] کلاسیک و فازی[4] استفاده شده است و در نهایت با مقایسه رفتار کنترلر ها بهترین و مناسب ترین کنترلر انتخاب خواهد شد. در روش‌های متداول کنترلی، مانند استفاده از کنترلر PID توانایی لازم برای پاسخ‌دهی سریع، مقاوم بودن در برابر اغتشاشات، و تطابق با شرایط دینامیکی متغیر موتور محدود است. به همین علت، استفاده از کنترلرهای فازی به عنوان یکی از رویکردهای هوشمند کنترل، در سال‌های اخیر گسترش یافته است. کنترلر فازی، با بهره‌گیری از قواعد زبانی و استنتاج انسانی، قابلیت تطبیق‌پذیری بالا در محیط‌های غیرخطی و نادقیق را دارد. با این وجود، طراحی بهینه ساختار و پارامترهای این کنترلر نقش بسزایی در عملکرد نهایی آن دارد و بهینه‌سازی این پارامترها با روش‌های کلاسیک با موانعی مانند گیر افتادن در کمینه‌های محلی مواجه می‌شود. جهت یافتن ضرایب مناسب کنترلرها روش های متنوعی وجود دارد که یکی از بهترین روش ها استفاده از هوش مصنوعی از طریق الگوریتم های فرا ابتکاری می باشد [5],[6],[7],[8],[9],[10]. در نهایت با بررسی رفتار دینامیکی موتور شامل پاسخ مناسب به تغییرات سرعت و کنترل نوسانات جریان موتور حین تغییر سرعت و گشتاور بار با استفاده از کنترلر های ذکر شده در شرایط یکسان و مقایسه نمودارهای سرعت و جریان، کنترلر مناسب تر پیشنهاد خواهد شد [2],[3] ,[6],[8].



شکل-۱ : نمای سیستم کنترل موتور BLDC در MATLAB

روش‌های زیادی جهت یافتن ضرایب کنترلرها در حوزه زمان و لاپلاس وجود دارد که برترین این روش ها استفاده از هوش مصنوعی و الگوریتم‌های فراابتکاری از قبیل GA، PSO، TLBO، GA، GWO و الگوریتم‌های جدیدتر مانند HHO[5]باشند [3],[6],[8],[11]. اکثر الگوریتم های بهینه سازی قدیمی تر دارای مشکلاتی از قبیل گیر کردن الگوریتم در حلقه های تکرار، زمان طولانی جهت پاسخ به سیستم، ساختار پیچیده و حجیم، جواب های متنوع، مشکل در همگرایی و... می باشند. در الگوریتم بهینه سازی HHO اکثر مشکلات ذکر شده رفع گردیده و یکی از مناسب ترین روش ها جهت بهینه کردن ضرایب کنترلرها می‌باشد. در این تحقیق جهت یافتن بهترین الگوریتم،

[3] proportional–integral–derivative controller
[4] Fuzzy controller
[5] Hawk's Harris Optimizer

الگوریتم های فراابتکاری TLBO، GWO و HHO باهم مقایسه شده اند و از میان این الگوریتم‌ها، الگوریتم HHO راهکاری مناسب برای یافتن تنظیمات بهینه کنترلر می‌باشد [1],[2],[3],[6],[11].

۲. معرفی سیستم

۱،۲. موتور BLDC

در این بخش به بیان مدل ریاضی موتور BLDC پرداخته می‌شود. با درنظر گرفتن فرضیات ذیل معادلات ولتاژ یک موتور BLDC بصورت رابطه (۱) بیان می‌گردد.

- ماشین در حالت اشباع نمی‌باشد.
- مقاومت و اندوکتانس خودی هر فاز استاتور با دیگر فازهای آن برابر است.
- اندوکتانس متقابل فازهای مختلف نیز با یکدیگر برابرند.
- تلفات هسته ناچیز است.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & 0 & 0 \\ 0 & R & 0 \\ 0 & 0 & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} L-M & 0 & 0 \\ 0 & L-M & 0 \\ 0 & 0 & L-M \end{bmatrix} \frac{d}{dt} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_a \\ e_b \\ e_c \end{bmatrix} \quad (۱)$$

که در معادله فوق e_c, e_b, e_a ولتاژهای ضدمحرکه ذوزنقه‌ایی شکل می‌باشند. همچنین گشتاور الکترومغناطیسی تولیدشده و سرعت موتور نیز از روابط (۲) و (۳) بدست می‌آیند.

$$T_e = \frac{1}{\omega_r}(e_a i_a + e_b i_b + e_c i_c) \quad (۲)$$

$$T_e = T_L + J\frac{d\omega_r}{dt} + B\omega_r \quad (۳)$$

که در آن، T_L گشتاور بار بوده و J,B نیز به ترتیب ضریب اصطکاک بار و ممان اینرسی ارجاعی به شافت روتور می‌باشند. مشخصه‌های سرعت و گشتاور موتور BLDC از معادله (۴) می‌تواند با صرف‌نظر از میرایی به‌صورت بیان گردد.

$$\omega_r = \frac{1}{J}\int (T_e - T_L).dt = \frac{1}{J}\int [(T_a + T_b + T_c)].dt \quad (۴)$$

رابطه بین توان الکتریکی(P_e) و توان مکانیکی(P_m) در موتورهای BLDC به‌صورت رابطه (۵) است.

$$P_e = E.Im_{e\ max} \quad (۵)$$

همچنین گشتاور به‌طور مستقیم با تغییر دامنه جریان مطابق با رابطه (۶) قابل کنترل می‌باشد.

$$T_e = \frac{E}{\omega_r} It \left(K_t = \frac{E}{\omega_r} = \frac{K_e.\omega_r}{\omega_r} \approx K_e\right)_{max} \quad (۶)$$

که در آن K_t ثابت گشتاور است. در این مدل، وضعیت روتور(θ_r) با استفاده ار سرعت زاویه‌ای روتور(ω_r) بدست می‌آید که مقدار آن از 0 تا 2π رادیان در هر سیکل الکتریکی تغییر می‌نماید. بنابراین جریان‌های سه‌فاز موتور می‌توانند برحسب ولتاژهای خط به خط بیان شوند و معادله (۷) بین ولتاژ و جریان خط به خط موتور برقرار خواهد بود.

$$\begin{cases} V_{ab} = R_{LL} i_1 + (L-M)_{LL}.\dfrac{di_1}{dt} + e_{ab} \\ V_{bc} = R_{LL} i_2 + (L-M)_{LL}.\dfrac{di_2}{dt} + e_{bc} \\ V_{ca} = R_{LL} i_3 + (L-M)_{LL}.\dfrac{di_3}{dt} + e_{ca} \end{cases} \quad (۷)$$

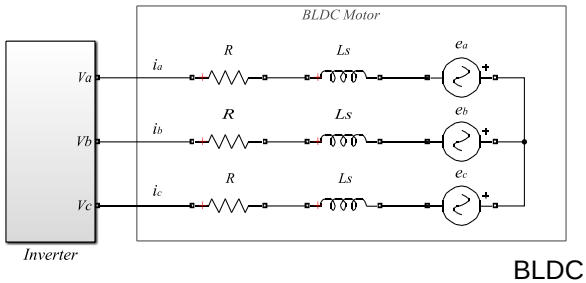
ولتاژ ضدمحرکه تابعی از وضعیت روتور(θ_r) می‌باشد و دامنه‌ای برابر با $e = K_e.\omega_r$ دارد. در این گزارش در مدلسازی ولتاژ ضدمحرکه فرض شده‌است که همه فازها شکل موج ولتاژ ضدمحرکه یکسانی دارند و جهت ساخت آنها سیگنال‌های منطقی دریافت شده از سنسورهای اثر هال مطابق جدول تنظیم گیت‌های مقایسه‌گر به سه ولتاژ ضدمحرکه موتور تبدیل میگردند. ولتاژ ضد محرکه موتور BLDC بر مبنای وضعیت روتور از روابط (۸) بدست می‌آیند.

$$e_a = \begin{cases} (6E/\pi).\theta_r 0 < \theta_r < \pi/6 \\ E\pi/6 < \theta_r < 5\pi/6 \\ -(6E/\pi).\theta_r + 6E5\pi/6 < \theta_r < 7\pi/6 \\ -E7\pi/6 < \theta_r > 11\pi/6 \\ (6E/\pi).\theta_r - 12E11\pi/6 < \theta_r < 2\pi \end{cases}$$

$$e_a = \begin{cases} (6E/\pi).\theta_r 0 < \theta_r < \pi/6 \\ E\pi/6 < \theta_r < 5\pi/6 \\ -(6E/\pi).\theta_r + 6E5\pi/6 < \theta_r < 7\pi/6 \\ -E7\pi/6 < \theta_r > 11\pi/6 \\ (6E/\pi).\theta_r - 12E11\pi/6 < \theta_r < 2\pi \end{cases} \quad (۸)$$

$$e_a = \begin{cases} (6E/\pi).\theta_r 0 < \theta_r < \pi/6 \\ E\pi/6 < \theta_r < 5\pi/6 \\ -(6E/\pi).\theta_r + 6E5\pi/6 < \theta_r < 7\pi/6 \\ -E7\pi/6 < \theta_r > 11\pi/6 \\ (6E/\pi).\theta_r - 12E11\pi/6 < \theta_r < 2\pi \end{cases}$$

مدار معادل یک موتور BLDC در شکل-۲ نمایش داده شده است.



شکل-۲ : مدار معادل موتور BLDC

۲،۲. کنترلر PID

این سیستم کنترل کلاسیک به عنوان یکی از کنترلرهای قدیمی با کارکرد مطلوب و ارزان قیمت در بسیاری از سیستم‌های کنترلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کنترلر یک کنترلر تناسبی-انتگرالی-مستقی بوده که مقدار خطا بین خروجی فرآیند و مقدار مطلوب را به حداقل می‌رساند. روابط حاکم بر کنترلر PID در رابطه (۹) نمایش داده شده است.

$$U(t) = Kp * e(t) + Ki \int e(t)dt + Kd\frac{de(t)}{dt} \qquad (۹)$$

که در آن $e(t)$ مقدار خطای سیستم، Kp ، Ki و Kd به ترتیب ضرایب تناسبی و انتگرالی و مشتقی کنترلر و $U(t)$ خروجی مطلوب کنترلر می‌باشند.

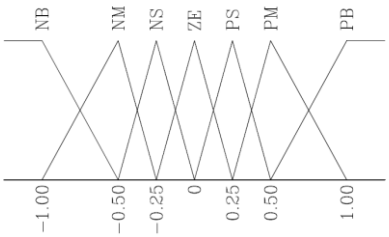
۳،۲. کنترلر فازی

منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفسور لطفی زاده، استاد دانشگاه کالیفرنیا در برکلی، معرفی شد. هدف از این نظریه، ارائه روشی برای مدل‌سازی و تحلیل سیستم‌هایی بود که اطلاعات ورودی آن‌ها مبهم، نادقیق یا ناقص هستند. برخلاف منطق کلاسیک که مفاهیم را به‌صورت کاملاً دقیق و دوحالته (صفر یا یک، درست یا غلط) در نظر می‌گیرد، منطق فازی اجازه می‌دهد که درجاتی از عضویت در مفاهیم و دسته‌بندی‌ها وجود داشته باشد؛ به‌طوری‌که یک پدیده می‌تواند هم‌زمان به چندین دسته با شدت‌های مختلف تعلق گیرد. این کنترلر شکلی از منطق‌های چندارزشی بوده که در آن ارزش منطقی متغیرها می‌تواند هر عدد حقیقی بین ۰ و ۱ و خود آن‌ها باشد. این منطق به منظور به‌کارگیری مفهوم درستی جزئی به‌کارگیری می‌شود، به طوری که میزان درستی می‌تواند هر مقداری بین کاملاً درست و کاملاً غلط باشد. منطق فازی دارای چهار بخش اصلی فازی سازی[۶] پایگاه قوانین[۷] موتور استنتاج فازی[۸] و برگرداندن از فازی[۹] می باشد. در این پژوهش از روش ممدانی برای فازی سازی و از روش گرانیگاه برای غیر فازی سازی استفاده در روش گرانیگاه سطح بدست آمده در مرحله استنتاج را بدست آورده، آن را بر محور افقی تصویر میکنیم، بنابراین میانگین وزندار شده تمام مقادیر متغیر خروجی را بدست می آوریم به عبارت دیگر وزن هر خروجی، درجه عضویت آن است. یکی از بهترین روش های غیرفازی سازی روش فوق می باشد زیرا تمام نقاط حوزه تعریف و درجه عضویت آنها را در بر میگیرد. توابع عضویت و روابط فازی استفاده شده به منظور انجام تنظیمات و تعریف کنترلر فازی استفاده شده در این مقاله به ترتیب در جدول-۱ و شکل-۲ نشان داده شده اند.

[6] Fuzzifier
[7] Rule Base
[8] Inference engine
[9] De fuzzifier

جدول-۱ : روابط فازی (Fuzzy rules)

$\Delta\varepsilon/\varepsilon$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	ZE	PS	PM	PB	PB	PB	PB
PM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB	PB
PS	NM	NS	ZE	PS	PM	PB	PB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NS	NB	NB	NM	NS	ZE	PS	PM
NM	NB	NB	NB	NM	NM	ZE	PS
NB	NB	NB	NB	NB	NM	NM	ZE



شکل ۲- توابع عضویت کنترل فازی (Membership function)

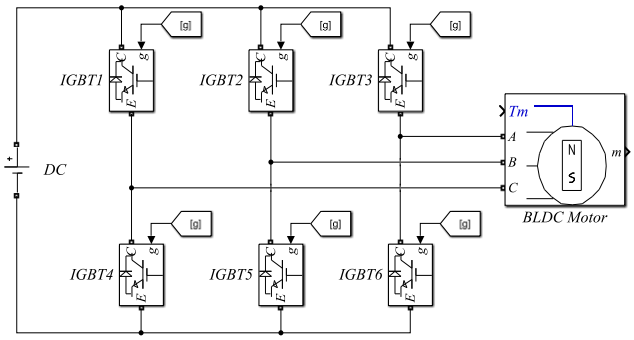
۴،۲. سیستم درایو موتور BLDC

کنترل موتور BLDC در حالت کلی، به دو دسته سنسوری و بدون سنسور (Sensor less) تقسیم می‌شوند. در کنترل سنسوری برای اندازه‌گیری موقعیت روتور از سنسورهای اثر هال تعبیه شده در استاتور استفاده می‌شود که موقعیت نسبی را اندازه می‌گیرند. سنسورهای اثر هال در بازه‌های برابری (معمولا ۶۰ یا ۱۲۰ درجه الکتریکی) چیده شده‌اند. در کنترل سنسوری، از ترکیب سنسور اثر هال با ترانزیستورهای قدرت استفاده می‌شود که به عنوان کلید الکترونیکی در اینورتر سه فاز مورد استفاده قرار می‌گیرند. سنسور اثر هال یک سیگنال منطقی صفر یا یک تولید می‌کند. شکل-۳ یک نمونه از سیستم کنترل یک موتور BLDC را نمایش می‌دهد. سوئیچ‌های Q1 تا Q6 کلید قدرت بوده که می‌توانند از نوع Mosfet[1] نیز باشند. جدول-۲ نیز ترتیب کلیدزنی سوئیچ‌ها را براساس ورودی‌های A و B و C سنسورهای هال و برای گردش در جهت عقربه‌های ساعت نشان می‌دهند.

[1] metal-oxide semiconductor field-effect transistor

جدول-۲ : کلید زنی جهت چرخش ساعتگرد موتور BLDC

Sequence	Hall Sensor Signal			Active PWM		Phase Current		
	A	B	C			A	B	C
1	0	0	1	PWM(Q2)	PWM(Q5)	DC+	Off	DC-
2	0	0	0	PWM(Q2)	PWM(Q3)	DC+	DC-	Off
3	1	0	0	PWM(Q6)	PWM(Q3)	Off	DC-	DC+
4	1	1	0	PWM(Q6)	PWM(Q1)	DC-	Off	DC+
5	1	1	1	PWM(Q4)	PWM(Q1)	DC-	DC+	Off
6	0	1	1	PWM(Q4)	PWM(Q5)	Off	DC+	DC-



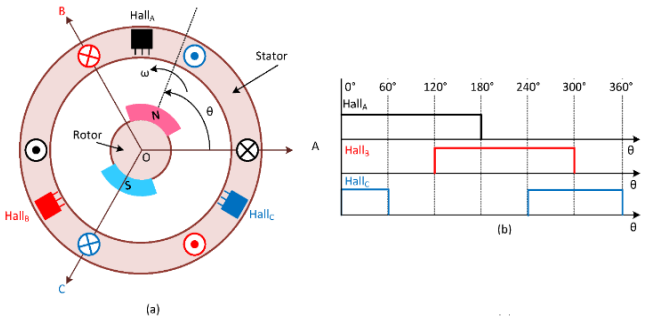
شکل-۳ : بلوک دیاگرام کنترل موتور BLDC با استفاده از اینورتر شش سوئیچه سه فاز

اگر سیگنال‌های نامگذاری شده با نام PWM مطابق با ترتیب کموتاسیون سوئیچ‌زنی گردند، موتور در سرعت نامی خواهد چرخید. با تغییر دوره کاری[1] موج PWM، ولتاژ متوسط تغذیه استاتور کاهش یافته و لذا جریان، گشتاور و در نتیجه سرعت روتور کاهش می‌یابند. سرعت موتور می‌تواند در یک حلقه بسته و با اندازه‌گیری سرعت واقعی موتور تنظیم شود. خطای بین سرعت مرجع و واقعی توسط کنترل کننده تقویت گردیده و برای تنظیم دوره‌کاری سیگنال‌های PWM بکار رود.

۵,۲. تعیین موقعیت روتور

برخلاف موتور DC جاروبک‌دار، کموتاسیون یک موتور BLDC به‌صورت الکترنیکی صورت می‌گیرد. برای چرخش موتور، سیم‌پیچ‌های استاتور باید با ترتیبی مناسب تحریک گردند. برای تحریک سیم‌پیچ‌های استاتور، دانستن وضعیت روتور بسیار اهمیت دارد. تعیین وضعیت روتور توسط سنسور اثر هال[2] می‌باشند. هر زمان که قطب‌های مغناطیسی روتور از نزدیکی یک سنسور هال عبور می‌نمایند یک سیگنال High یا Low که مبین عبور قطب N یا S از نزدیکی سنسور می‌باشد، ایجاد می‌نمایند. براساس ترکیب سیگنال‌های ایجاد شده توسط این سه سنسورف ترتیب دقیق کموتاسیون قابل تعیین است. شکل-۴ نحوه جاسازی سنسورهای اثر هال و سیگنال‌های خروجی آن‌ها را در یک موتور BLDC نمایش می‌دهد. جاسازی سنسورهای هال بر روی استاتور فرآیند ساده‌ای نمی‌باشد زیرا غیر هم محور بودن سنسورها نسبت به مگنت‌های روتور منجربه ایجاد خطا در تعیین وضعی روتور می‌شود. برای سهولت عمل جاسازی سنسورهای هال بر روی استاتور از سه عدد مگنت کوچک بر روی روتور استفاده می‌شود که این مگنت‌ها نزدیک به سنسورهای هال قرار دارند. براساس مکان فیزیکی، سنسورهای هال دو نوع آرایش وجود دارد. سنسورهای هال در مکان‌های ۱۲۰ درجه نسبت به یکدیگر قرار گیرند.

[1] Duty Cycle [1]
[1] Hall effect sensor[2]



شکل-۴ : سنسورهای اثرهال و سی‌گنال تولی‌دی آن‌ها

۶،۲. الگوریتم بهینه سازی شاهین هریس

در این مقاله استفاده از الگوریتم بهینه سازی «بهینه ساز هریس هاوکس» به عنوان یک روش کارآمد جهت یافتن ضرایب کنترلرها مطرح شده است لذا در این بخش به تشریح این الگوریتم و روش بهینه سازی آن پرداخته شده است، همچنین در بخش نتایج شبیه سازی به مقایسه عملکرد این الگوریتم با سایر اگوریتم‌ها به منظور مشخص شدن برتری عملکرد آن پرداخته خواهد شد. این الگوریتم که در رده ی الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت قرار می گیرد، برگرفته از رفتار گروهی و شگرد تعقیب شاهین های هریس می باشد که به «حمله غافل گیرانه» مشهور است. در این استراتژی هوشمند، چندین شاهین به صورت گروهی یک طعمه را از جهت های مختلف مورد حمله قرار داده و سعی می کنند آن را غافل گیر کنند. شاهین‌های هریس می توانند بسته به الگوی فرار طعمه، از الگوهای تعقیب مختلفی استفاده کنند که با استفاده از روابط ریاضی این الگوها و رفتارهای پویا فرمول بندی شده تا یک الگوریتم بهینه سازی حاصل شود. کارآمدی بهینه ساز HHO، با سایر روش های الهام گرفته از طبعیت از جمله GWO مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج آماری و نتایج بدست آمده از مقایسات نشان می دهند که عملکرد الگوریتم HHO بسیار امیدوار کننده بوده و با روش‌های فرابتکاری نوین قابل رقابت است.

۳. شبیه سازی و نتایج آن

شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار MATLAB-R2021b صورت گرفته است. همچنین مشخصات سیستم لپتاپ استفاده شده جهت انجام شبیه سازی‌ها در جدول-۳ آورده شده است. همچنین جهت اعتبار خروجی‌های شبیه سازی ابتدا رفتار کنترلر کننده‌های فازی و PID را در کنترل دینامیکی سرعت با الگوریتم‌های مختلف مقایسه کرده تا مزیت استفاده از الگوریتم HHO مشخص گردد. و در قسمت‌های بعدی به بررسی رفتار سیستم شامل کنترل گشتاور، کنترل جریان و .... بین دو کنترلر فازی و PID بهینه شده با الگوریتم HHO پرداخته شده است. مشخصات و پارامترهای اینورتر استفاده شده در این تحقیق در جدول-۴ آرده شده است و مشخصات موتور نیز در جدول-۵ بیان شده است. همچنین نمای کلی شبیه سازی در MATLAB/Simulink پیشتر در شکل-۱ نمایش داده شده بود.

جدول-۳ : مشخصات سیستم کامپیوتری

Device Specifications	
Device name	*ASUS-CR25K5T*
Device Processor	*12th Gen Intel(R) Core(TM) i5-12500H 2.50 GHz*
Installed RAM	*16.0 GB (15.6 GB usable)*
System type	*64-bit operating system, x64-based processor*
Windows Edition	*Windows 11 Pro*
Windows Version	*23H2*
Windows OS build	*22631.5189*
Windows Experience	*Windows Feature Experience Pack 1000.22700.1077.0*

جدول-۴ : مشخصات اینورتر

Number of bridge arms	*3*
Number of switches	*6*
Snubber resistance Rs (Ohms)	*100000*
Snubber capacitance Cs (F)	*inf*
Power Electronic device	*MOSFET / Diodes*

جدول-۵ : مشخصات موتور BLDC

Back EMF waveform	*Trapezoidal*
Number of phases	*3*
Mechanical input	*Torque Tm*
Stator phase resistance Rs (Ohm)	*0.0485*
Stator phase inductance Ls (H)	*0.0085*
Back EMF flat area (degrees)	*120*
Inertia-J (kg.m^2)	*0.0027*
viscous damping- F(N.m.s)	*0.0004924*
pole pairs	*4*
static friction- Tf(N.m)]	*0*
Discrete solver model	*Trapezoidal non iterative*

۱،۳. عملکرد کنترلرها در کنترل سرعت

در این بخش به ارائه نتایج شبیه سازی جهت کنترل سرعت موتور BLDC با استفاده از کنترلرهای فازی و PID و الگوریتم‌های HHO، GWO و TLBO پرداخته شده است.

جدول-۶ : تنظیمات اولیه الگوریتم‌های HHO، GWO و TLBO

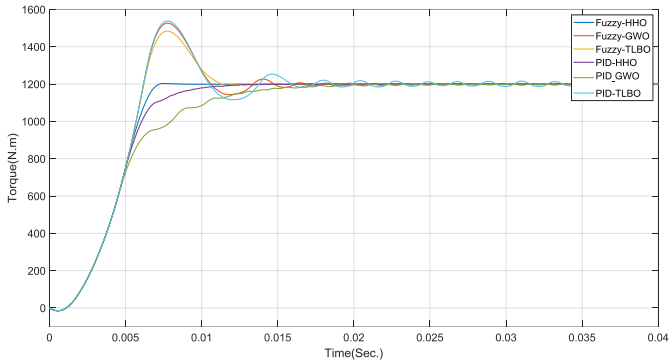
Upper Band	*0*
Lower Band	*5000*
Max Iterations	*100*
Population Size	*50*

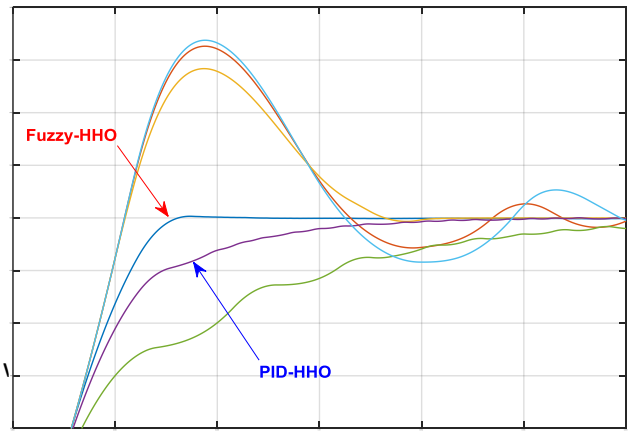
جهت بررسی عملکرد الگوریتم‌ها پارامترهای تمام آن‌ها به صورت مشابه و مطابق مندرجات جدول-۶ انجام شده است و همچنین نتایج تنظیمات الگوریتم‌ها رو پارامترهای کنترلی در جدول-۷ ارائه شده است. با توجه به توضیحات مذکور و تنظیم پارامترهای کنترلرهای فازی و PID مطابق جدول-۷ نتایج کنترل سرعت موتور BLDC در ۶ وضعیت در شکل-۵ نشان داده شده است.

جهت وضوح بهتر تصویر و امکان مقایسه عملکرد کنترلرها و الگوریتم‌های بهیته سازی تصویر نمای نزدیکتر شکل-۵ نیز نمایش داده شده است.

جدول-۷ : تنظیمات پارامتر کنترلرها با الگوریتم‌های مختلف

Controller	*Controller Parameters*	*HHO*	*GWO*	*TLBO*
PID	*Proportional (P)*	*3.13E+03*	*1.16E+03*	*2.21E+00*
	Integral (I)	*2.01E+03*	*8.51E+02*	*1.21E+00*
	Derivative (D)	*5.12E+00*	*3.21E+00*	*1.33E+00*
	Filter coefficient (N)	*4.85E+03*	*1.47E+03*	*6.54E-02*
Fuzzy	*K1*	*8.20E+02*	*2.02E+03*	*1.21E+03*
	K2	*1.06E+00*	*9.08E-02*	*3.22E-01*
	K3	*2.59E+01*	*1.93E+03*	*1.43E+03*





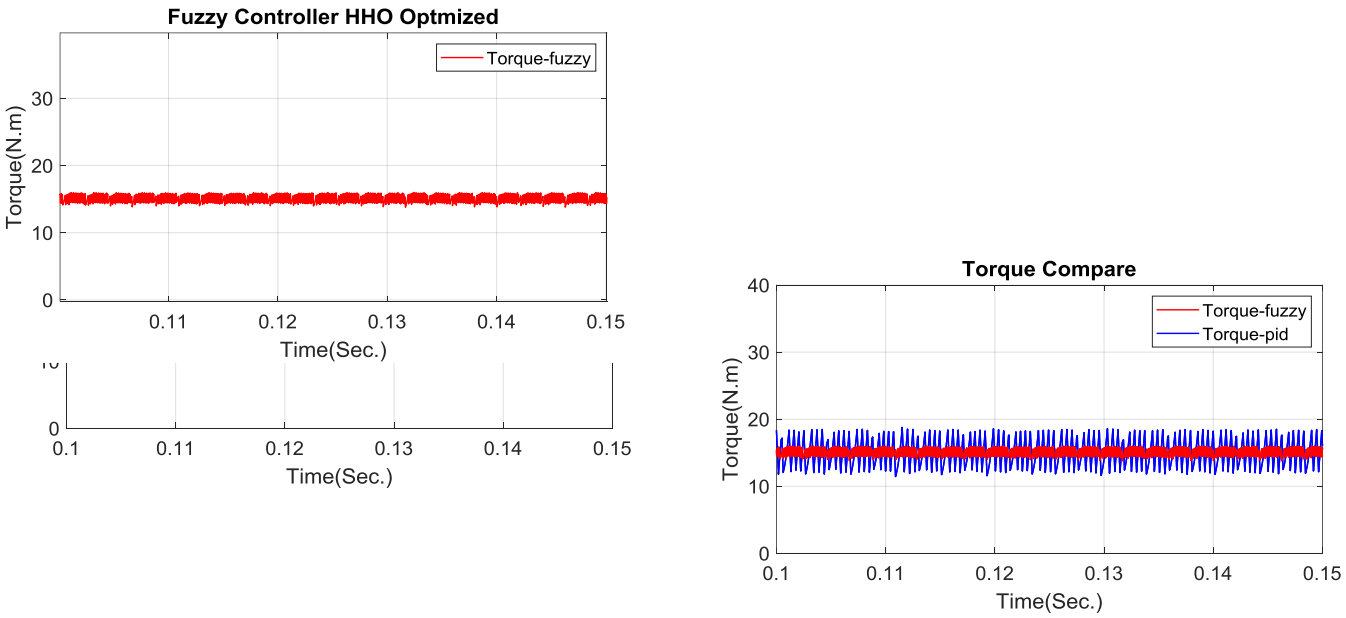
شکل-۵ : کنترل سرعت کنترلر فازی و PID با الگوریتم‌های مختلف

با توجه به عملکرد نزدیک کنترلر فازی و PID بهینه شده با الگوریتم HHO در فرآیند کنترل سرعت، جهت مشخص شدن کنترلر برتر در بخش‌های بعدی به بررسی سایر پارامترها از جمله ریپل گشتاور بار و جریان استاتور می‌پردازیم تا کارایی بهتر کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم HHO مشخص گردد.

۲،۳. عملکرد کنترلرها در کنترل گشتاور

گرچه هدف اصلی این مقاله متمرکز بر کنترل سرعت موتور می‌باشد، اما به دلیل اهمیت بالای کنترل گشتاور، این موضوع نیز به عنوان یکی از اهداف کنترلی فرعی مورد توجه قرار گرفته است.

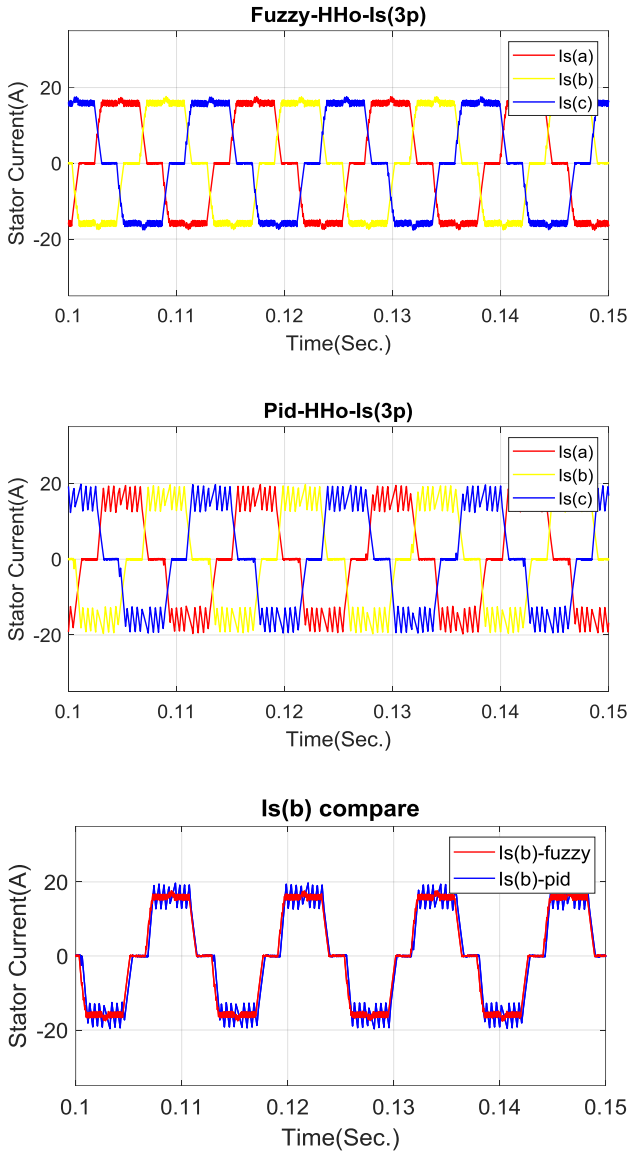
موتورهای BLDC به دلیل برخورداری از دانسیته گشتاور و توان بالا، در مقایسه با بسیاری از موتورهای جریان متناوب، از راندمان بالاتری برخوردارند. با این حال، به واسطه شکل موج غیرسینوسی جریان و فرآیند کموتاسیون میان فازها، این موتورها ذاتاً دچار ریپل گشتاور می‌شوند. این ریپل در سرعت‌های بالا به یک معضل جدی تبدیل شده و موجب کاهش گشتاور متوسط، کاهش توان خروجی و در نتیجه افت راندمان کلی موتور می‌گردد. بنابراین در این پروژه، کاهش ریپل گشتاور موتور عنوان دومین هدف کنترلی مهم در نظر گرفته. لذا در این بخش به بررسی کنترل دینامیکی گشتاور بار در کنترلرهای فازی و PID پرداخته شده است. به این منظور گشتاور مکانیکی 15 N.m به سیستم اعمال شده و سرعت تنظیمی برابر 1200 rpm می‌باشد. عملکرد کنترل گشتاور دو کنترلر در شکل-۶ نمایش داده شده است. همانگونه میدانیم گشتاور موتور BLDC دارای ریپل ذاتی می‌باشد، گشتاور خروجی با کنترلر فازی بسیار نرم تر و با ریپل کم می‌باشد در حالیکه کنترلر PID اعواجات بیشتر و قابل توجهی در گشتاور بار ایجاد نموده است. لذا علیرغم رفتار نزدیک به هم دو کنترلر در کنترل سرعت، کنترلر فازی در کنترل گشتاور بار عملکرد به مراتب بهتری نسبت به کنترلر PID دارد.



شکل-۶ : نمودار عملکرد کنترلرها در کنترل دی‌نامی‌کی گشتاور

۳،۳. عملکرد کنترلرها در کنترل جریان استاتور

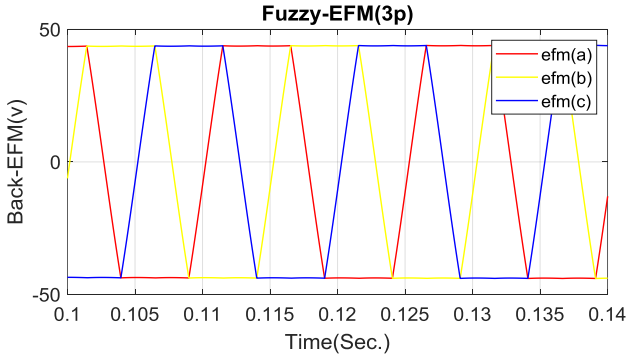
علاوه بر اهداف ذکر شده نظیر کنترل سرعت و کنترل گشتاور، کنترل جریان استاتور را می‌توان از اهداف مهم دیگر یک سیستم کنترل کارآمد بیان کرد. زیرا کنترل اعوجاجات جریان می‌تواند از آسیب به استاتور و اینورتر جلوگیری نماید. لذا در شکل-۷ ابتدا جریان استاتور ۳فاز موتور با کنترلر فازی و بعد جریان ۳ فاز موتور با کنترلر PID آورده شده و جهت روشن تر شدن موضوع جریان فاز-b هردو کنترلر نیز با هم مقایسه شده است. همانگونه که در شکل-۷ مشخص است کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم HHO عملکرد بسیار مناسبی در کنترل جریان استاتور نسبت به کنترلر PID بهینه شده با الگوریتم HHO داشته است.



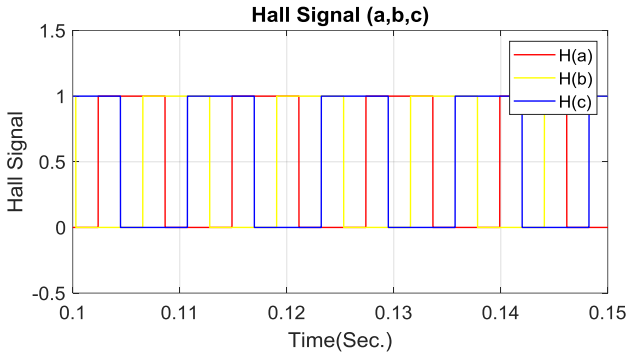
شکل-۷ : نمودار عملکرد کنترلرها در کنترل جریان استاتور

۴،۳. سیگنال هال و ولتاژ ضد محرکه

با توجه به اینکه صحت عملکرد سیستم شبیه سازی شده و کلیه نمودارهای قبلی در گرو عملکرد صحیح سنسورهای اثرهال جهت نمایش دقیق موقعیت روتور و شکل گیری صحیح ولتاژهای ضد محرکه (Back emf) لذا در این بخش نمودارهای مربوط به ولتاژ ضد محرکه در شکل-۸ و نمایش سیگنال‌های اثر هال در شکل-۹ ارائه شده اند. با مقایسه این نمودارها به نمودارهای نظری مشخص میگردد سیستم شبیه سازی به درستی عمل نموده است.



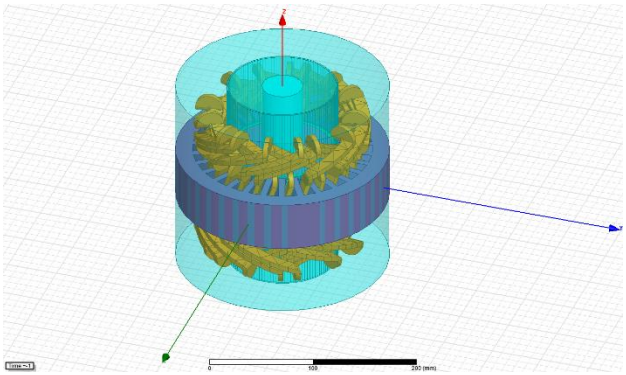
شکل-۸ : ولتاژ ضد محرکه موتور BLDC



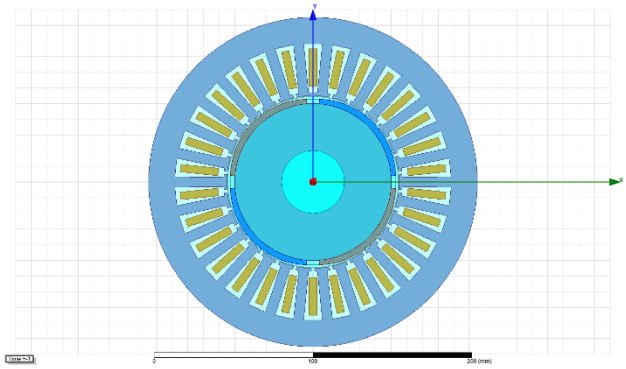
شکل-۹ : سی‌گنال سنسورهای اثر هال

۵،۳. مدل المان محدود (FEM) موتور BLDC

در بخش‌های قبل به بررسی عملکرد کنترلرها در محیط MATLAB/Simulink پرداخته شد. با توجه به امکان مدلسازی دقیق‌تر مدل موتور BLDC به صورت مدل المان محدود در Ansys/Maxwell به منظور مطابقت خروجی‌های MATLAB، مدل موتور در Ansys/Maxwell پیاده سازی شده است و نمودار سرعت و گشتاور موتور با مدل MATLAB مقایسه گردیده است. در شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱ به ترتیب نمای دو بعدی و یه بعدی موتور BLDC مدل شده در Ansys/Maxwell نشان داده شده است. شایان ذکر است جهت بررسی دقیق‌تر، پارامترهای طراحی موتور BLDC در Ansys/Maxwell عیناً مشابه موتور طراحی شده در MATLAB انتخاب گردیده اند.

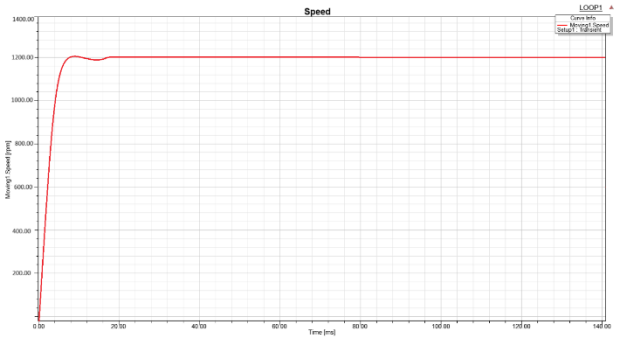


شکل-۱۰ : نمای سه بعدی موتور BLDC شبیه سازی شده در Ansys/Maxwell

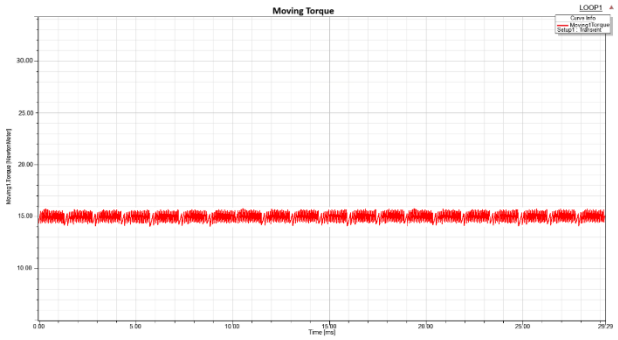


شکل-۱۱ : نمای دو بعدی موتور BLDC شبیه سازی شده در Ansys/Maxwell

با توجه به اینکه هدف از ارائه مدل المان محدود موتور مقایسه کنترل سرعت و کنترل گشتاور موتور BLDC با مدل ارائه شده در MATLAB می‌باشد، لذا نمودارسرعت و گشتاور بار در مدل المان محدود به ترتیب در شکل‌های ۱۲و ۱۳ نشان داده شده‌اند.



شکل-۱۲ : سرعت موتور BLDC در Ansys/Maxwell



شکل-۱۳ : گشتاور موتور BLDC در Ansys/Maxwell

با توجه به اینکه مشخصات موتور طراحی شده در Ansys/Maxwell و موتور طراحی شده در MATLAB دقیقا مشابه می‌باشد لذا گشتاور بار 15N.m در سرعت تنظیمی 1200 rpm به موتور اعمال شده است. با مقایسه شکل-۱۳ با شکل-۶ مشخص است که گشتاور بار مدل MATLAB و ANSYS بسیار نزدیک به‌هم بوده و این امر دقت مدل MATLAB را تأیید می‌کند. همچنین با مقایسه نمودار سرعت مدل ANSYS ارائه شده در شکل-۱۲ با نمودار سرعت مدل MATLAB ارائه شده در شکل-۵ به وضوح مشخص است که هر دو مدل از دقت مطلوب برخودار می‌باشند.

۴. نتیجه گیری

در این مقاله هدف اصلی ارائه روش مناسب جهت کنترل سرعت موتور BLDC بود که در قالب یک سیستم کنترل حلقه بسته متشکل از اجزاء مختلف از جمله موتور، درایو، سیستم کنترل و الگوریتم بهینه سازی مطرح گردید. در بخش‌های قبلی ساختمان و نحوه عملکرد هریک از اجزاء سیستم کنترل حلقه بسته تشریح گردید. ابتدا موتور BLDC به عنوان سیستم تحت کنترل و اصول عملکردی آن به طور کامل تشریح گردید، سپس به معرفی درایو کنترل دور موتور (اینورتر شش سوئیچه) و روش عملکرد آن پرداخته شد. همچنین به بحث و بررسی در خصوص کنترل سرعت موتور و انواع روش‌های مختلف کنترل و بررسی کنترلرهای PID و فازی پرداخته شد. همچنین عملکرد الگوریتم بهینه سازی شاهین هریس تشریح و عملکرد آن با سایر الگوریتم‌ها مقایسه گردید که بیانگر عملکرد بهتر این الگوریتم بود و روش کنترل دور موتور BLDC با استفاده از کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم شاهین هریس به عنوان موضوع اصلی بحث و روش کنترلی مدنظر مطرح گردید. این روش به دلیل توانایی بالای آن در پیش‌بینی رفتار سیستم و پاسخ‌دهی سریع به تغییرات، به یکی از گزینه‌های مطلوب برای بهبود عملکرد موتور در شرایط مختلف تبدیل شده است. علاوه بر این، به تشریح روش کنترل سنسوری از طریق سنسورهای اثرهال به عنوان یک روش مرسوم، ارزان قیمت و در دسترس مورد بررسی قرار گرفت که این تکنیک در کنار کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم شاهین هریس قادر است جهت انجام کماتاسیون الکتریکی به‌طور دقیق وضعیت روتور را تخمین بزند و در عین حال دقت بالایی را در عملکرد حفظ سرعت موتور داشته باشد. در نهایت نتایج شبیه سازی در فصل چهارم مشخص نمود این ترکیب سیستم کنترلی (کنترلر فازی بهینه شده با الگوریتم شاهین هریس) نسبت به کنترلرهای کلاسیک قدیمی کارآیی مناسب تری مخصوصا در زمینه کنترل دینامیکی سرعت موتور، گشتاور بار و جریان استاتور داشته است. استفاده از سیستم کنترلی اشاره شده انعطاف‌پذیری سیستم کنترلی را در برابر تغییرات بار، تغییر پارامترهای سیستم و ورودی‌های اغتشاش افزایش می‌دهد و به سیستم این امکان را می‌دهد که به سرعت به تغییرات واکنش نشان دهد و عملکرد خود را بهینه کند. این امر به سیستم اجازه می‌دهد تا کنترل مناسبی از سرعت و گشتاور را در محدوده‌های مختلف سرعت فراهم کند و عملکرد بهتری در شرایط متغیر ارائه دهد. این کنترل‌کننده قادر است در سرعت‌های مختلف موتور عملکرد بهینه‌ای داشته باشد و خطای تخمین را در حالت‌های ماندگار و گذرا کاهش دهد. در نتیجه، استفاده از کنترلر فازی نه تنها کارایی سیستم را افزایش می‌دهد بلکه به بهبود پایداری و دقت در کنترل دور موتور BLDC کمک می‌کند. در این مقاله علاوه بر اجرای سیستم کنترل در نرم افزار MATLAB جهت صحت سنجی نتایج بدست آمده، مدل موتور به صورت مدل المان محدود در ANSYS نیز اجرا گردید که مقایسه نتایج نشان می‌دهد عملکرد مدل MATLAB دقیق و قابل قبول می‌باشد.

۵. مراجع

[1] Shenbagalakshmi, R., Mittal, S. K., Subramaniyan, J., Vengatesan, V., Manikandan, D., & Ramaswamy, K. (2025). Adaptive speed control of BLDC motors for enhanced electric vehicle performance using fuzzy logic. Scientific Reports, 15(1), 12579.

[2] Shi, J., Mi, Q., Cao, W., & Zhou, L. (2022). Optimizing BLDC motor drive performance using particle swarm algorithm-tuned fuzzy logic controller. SN Applied Sciences, 4(11), 293.

[3] He, M., Zhang, T., Huang, J., & Luo, C. (2020, March). Speed control study of brushless DC motor based on fuzzy optimization PID. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 768, No. 4, p. 042013). IOP Publishing.

[4] Farhan, S. A. (2021). Optimization of DC motor speed control based on fuzzy logic-PID controller. Системы анализа и обработки данных, (3 (83)), 143-153.

[5] Balamurugan, K., & Mahalakshmi, R. (2020). ANFIS—fractional order PID with inspired oppositional optimization-based speed controller for brushless DC motor. International Journal of Wavelets, Multiresolution and Information Processing, 18(01), 1941004.

[6] Anshory, I., Hadidjaja, D., & Sulistiyowati, I. (2021). Measurement, modeling, and optimization speed control of BLDC motor using fuzzy-PSO based algorithm. Journal of Electrical Technology UMY, 5(1), 17-25.

[7] Wang, T., Wang, H., Hu, H., Lu, X., & Zhao, S. (2022). An adaptive fuzzy PID controller for speed control of brushless direct current motor. SN Applied Sciences, 4(3), 71.

[8] Kristiyono, R., & Wiyono, W. (2021). Autotuning fuzzy PID controller for speed control of BLDC motor. Journal of Robotics and Control (JRC), 2(5), 400-407.

[9] Kroičs, K., & Būmanis, A. (2024). BLDC motor speed control with digital adaptive PID-fuzzy controller and reduced harmonic content. Energies, 17(6), 1311.

[10] Maghfiroh, H., Ramelan, A., & Adriyanto, F. (2022). Fuzzy-PID in BLDC motor speed control using MATLAB/Simulink. Journal of Robotics and Control (JRC), 3(1), 8-13.

[11] Ali Asghar Heidari a,b, Seyedali Mirjalili c, Hossam Faris d, Ibrahim Aljarah d,Majdi Mafarja e, Huiling Chen f. (2019). Harris hawks optimization: Algorithm and applications. Elsevier Future Generation Computer Systems 97 (2019) 849–872

KNO-1201-4702

تحلیل و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های برق هوشمند با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین :چالش‌ها و راهکارهای نوین

علیرضا جوشن

کارشناسی ارشد برق قدرت گرایش الکترونیک قدرت و ماشین های الکتریکی، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

چکیده

شبکه‌های برق هوشمند به عنوان یک راهکار نوین برای مدیریت و توزیع انرژی در عصر دیجیتال، به طور فزاینده‌ای در حال توسعه و گسترش هستند. این مقاله مروری به تحلیل و بررسی عملکرد شبکه‌های برق هوشمند و نقش الگوریتم‌های یادگیری ماشین در بهینه‌سازی این عملکرد می‌پردازد.در ابتدا، ساختار و اجزای اصلی شبکه‌های برق هوشمند، از جمله حسگرها، سیستم‌های کنترل و ارتباطات، معرفی می‌شود. سپس، چالش‌های کلیدی موجود در این شبکه‌ها، از جمله مدیریت بار، ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر و حفظ امنیت سایبری، مورد بررسی قرار می‌گیرد.این مقاله به بررسی انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین، از جمله یادگیری نظارت‌شده و بدون نظارت، و کاربردهای آن‌ها در پیش‌بینی بار، مدیریت تقاضا و تشخیص ناهنجاری‌ها می‌پردازد. نتایج تجربی از پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها در شبکه‌های برق هوشمند نشان‌دهنده بهبود قابل توجه در کارایی و کاهش هزینه‌ها است.در نهایت، این مقاله به چالش‌های موجود در پیاده‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شبکه‌های برق هوشمند، از جمله نیاز به داده‌های با کیفیت، مسائل مربوط به حریم خصوصی و امنیت، و نیاز به زیرساخت‌های مناسب، می‌پردازد. همچنین، پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده و راهکارهای نوین برای بهبود عملکرد شبکه‌های برق هوشمند ارائه می‌شود.این مقاله به عنوان یک منبع جامع برای پژوهشگران و متخصصان در زمینه انرژی و فناوری اطلاعات، به بررسی روندهای جاری و آینده در این حوزه می‌پردازد و به اهمیت همکاری بین بخش‌های مختلف صنعت و دانشگاه‌ها در توسعه و بهینه‌سازی شبکه‌های برق هوشمند تأکید می‌کند.

کلیدواژه ها: شبکه‌های برق هوشمند، یادگیری ماشین، بهینه‌سازی عملکرد، پیش‌بینی بار، امنیت سایبری

۱-مقدمه

در دنیای امروز، با افزایش جمعیت و رشد سریع فناوری، تقاضا برای انرژی به طور چشمگیری افزایش یافته است[۱]. این افزایش تقاضا، چالش‌های متعددی را برای سیستم‌های انرژی سنتی به وجود آورده است و نیاز به راهکارهای نوین و کارآمد را بیش از پیش نمایان کرده است[۲و۳].در این راستا، شبکه‌های برق هوشمند (Smart Grids)به عنوان یک راهکار پیشرفته برای مدیریت و توزیع انرژی در سطح جهانی مطرح شده‌اند.این شبکه‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین اطلاعات و ارتباطات، امکان نظارت و کنترل بهینه مصرف انرژی را فراهم می‌آورند و به بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها کمک می‌کنند[۴و۵].

پیشینه تحقیق در این حوزه نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین (Machine Learning)به عنوان ابزاری قدرتمند برای تحلیل داده‌های بزرگ و پیچیده در شبکه‌های برق هوشمند، به طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است[۶-۸]. این الگوریتم‌ها به ویژه در زمینه‌های پیش‌بینی بار، مدیریت تقاضا، تشخیص ناهنجاری‌ها و بهینه‌سازی منابع انرژی تجدیدپذیر به کار گرفته می‌شوند .به عنوان مثال، تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم‌های یادگیری عمیق (Deep Learning)می‌تواند دقت پیش‌بینی بار را به میزان قابل توجهی افزایش دهد و به بهبود عملکرد کلی شبکه‌های برق کمک کند[۹-۱۱].

با این حال، علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در این زمینه، هنوز شکاف‌های پژوهشی قابل توجهی وجود دارد. یکی از این شکاف‌ها، عدم وجود یک چارچوب جامع برای ادغام الگوریتم‌های یادگیری ماشین با زیرساخت‌های موجود در شبکه‌های برق هوشمند است[۱۲-۱۶]. همچنین، چالش‌های مربوط به کیفیت داده‌ها، حریم خصوصی و امنیت سایبری نیز به عنوان موانع اصلی در پیاده‌سازی این الگوریتم‌ها شناخته می‌شوند. به علاوه، بسیاری از تحقیقات موجود به بررسی الگوریتم‌های خاص پرداخته‌اند و کمتر به تحلیل مقایسه‌ای و جامع از روش‌های مختلف پرداخته شده است[۱۷و۱۸].

نوآوری این مقاله در ارائه یک تحلیل جامع از چالش‌ها و فرصت‌های موجود در استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین در شبکه‌های برق هوشمند است. این مقاله به بررسی روندهای جاری و آینده در این حوزه می‌پردازد و پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده و راهکارهای نوین برای بهبود عملکرد شبکه‌های برق هوشمند ارائه می‌دهد. با توجه به اهمیت روزافزون انرژی‌های تجدیدپذیر و نیاز به مدیریت بهینه منابع انرژی، این تحقیق می‌تواند به عنوان یک منبع ارزشمند برای پژوهشگران و متخصصان در این حوزه عمل کند.

۲-شبکه‌های برق هوشمند

شبکه‌های برق هوشمند به عنوان یک تحول اساسی در صنعت انرژی شناخته می‌شوند که هدف آن‌ها بهبود کارایی، قابلیت اطمینان و پایداری سیستم‌های توزیع برق است. این شبکه‌ها با استفاده از فناوری‌های پیشرفته، مانند حسگرها، سیستم‌های ارتباطی و الگوریتم‌های تحلیلی، قادر به جمع‌آوری و تحلیل داده‌های واقعی از مصرف انرژی و تولید آن هستند.یکی از ویژگی‌های کلیدی شبکه‌های برق هوشمند، توانایی آن‌ها در مدیریت تقاضا و بهینه‌سازی مصرف انرژی است. این شبکه‌ها همچنین به کاربران این امکان را می‌دهند که به صورت فعال در مدیریت مصرف خود مشارکت کنند و از منابع تجدیدپذیر بهره‌برداری کنند. با افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، شبکه‌های برق هوشمند می‌توانند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند. به علاوه، این شبکه‌ها به بهبود پاسخگویی به بحران‌ها و حوادث طبیعی کمک می‌کنند و از این طریق امنیت انرژی را افزایش می‌دهند.در نهایت، شبکه‌های برق هوشمند به عنوان یک راه‌حل پایدار برای چالش‌های انرژی آینده مطرح می‌شوند و می‌توانند به تحقق اهداف توسعه پایدار کمک کنند[۱۹].

۲-۱-تعریف و ویژگی‌ها

شبکه‌های برق هوشمند به سیستم‌های توزیع و انتقال برق اطلاق می‌شود که با استفاده از فناوری‌های دیجیتال و ارتباطی، قابلیت جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها را دارند.این شبکه‌ها به کاربران و شرکت‌های برق این امکان را می‌دهند که به صورت بهینه‌تری انرژی را مدیریت کنند. از ویژگی‌های

کلیدی این شبکه‌ها می‌توان به قابلیت نظارت و کنترل در زمان واقعی، ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر و بهبود پاسخگویی به تقاضا اشاره کرد.همچنین، شبکه‌های برق هوشمند می‌توانند به شناسایی و حل مشکلات در سیستم توزیع برق به صورت خودکار کمک کنند[۲۰].

۲-۲-اهمیت و مزایای شبکه‌های برق هوشمند

شبکه‌های برق هوشمند به دلیل مزایای فراوانی که دارند، اهمیت زیادی در صنعت انرژی پیدا کرده‌اند. یکی از مزایای اصلی آن‌ها افزایش کارایی و کاهش هزینه‌های عملیاتی است. این شبکه‌ها با بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش تلفات در سیستم، به کاهش هزینه‌ها کمک می‌کنند.همچنین، با افزایش استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، شبکه‌های برق هوشمند می‌توانند به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کنند. از دیگر مزایای این شبکه‌ها می‌توان به بهبود کیفیت خدمات، افزایش قابلیت اطمینان و امنیت انرژی و توانایی پاسخگویی به بحران‌ها اشاره کرد. در نهایت، شبکه‌های برق هوشمند به عنوان یک راه‌حل پایدار برای چالش‌های انرژی آینده مطرح می‌شوند و می‌توانند به تحقق اهداف توسعه پایدار کمک کنند[۲۱].

۳-الگوریتم‌های یادگیری ماشین

الگوریتم‌های یادگیری ماشین به عنوان یکی از ابزارهای کلیدی در تحلیل داده‌ها و بهینه‌سازی عملکرد شبکه‌های برق هوشمند شناخته می‌شوند. این الگوریتم‌ها قادر به شناسایی الگوها و روندهای موجود در داده‌های بزرگ هستند و می‌توانند به پیش‌بینی تقاضای انرژی و مدیریت منابع کمک کنند. انواع مختلفی از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، از جمله یادگیری نظارت‌شده، یادگیری بدون نظارت و یادگیری تقویتی، در این زمینه مورد استفاده قرار می‌گیرند.

یکی از کاربردهای مهم یادگیری ماشین در شبکه‌های برق هوشمند، پیش‌بینی بار مصرفی است که به شرکت‌های برق کمک می‌کند تا منابع خود را بهینه‌تر مدیریت کنند.همچنین، این الگوریتم‌ها می‌توانند در شناسایی و تشخیص ناهنجاری‌ها در سیستم‌های توزیع برق به کار گرفته شوند، که به افزایش قابلیت اطمینان و کاهش خرابی‌ها کمک می‌کند.

علاوه بر این، یادگیری ماشین می‌تواند در بهینه‌سازی عملکرد منابع انرژی تجدیدپذیر، مانند انرژی خورشیدی و بادی، نقش مهمی ایفا کند. با استفاده از این الگوریتم‌ها، می‌توان به بهبود پیش‌بینی تولید انرژی از این منابع و مدیریت بهتر آن‌ها پرداخت. در نهایت، یادگیری ماشین به عنوان یک ابزار قدرتمند در تحول دیجیتال صنعت انرژی، به بهبود کارایی و پایداری شبکه‌های برق هوشمند کمک می‌کند[۲۲].

۳-۱-تعریف و انواع الگوریتم‌های یادگیری ماشین

یادگیری ماشین به مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها و تکنیک‌ها اطلاق می‌شود که به سیستم‌ها این امکان را می‌دهد تا از داده‌ها یاد بگیرند و بدون برنامه‌نویسی صریح، پیش‌بینی‌ها یا تصمیم‌گیری‌هایی انجام دهند. این الگوریتم‌ها به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند :یادگیری نظارت‌شده، که در آن مدل‌ها با استفاده از داده‌های برچسب‌گذاری شده آموزش می‌بینند، و یادگیری بدون نظارت، که در آن مدل‌ها به شناسایی الگوها و ساختارهای موجود در داده‌های بدون برچسب می‌پردازند[۲۳].

۳-۲-کاربردهای یادگیری ماشین در شبکه‌های برق هوشمند

یادگیری ماشین در شبکه‌های برق هوشمند کاربردهای متعددی دارد. یکی از مهم‌ترین کاربردها، پیش‌بینی بار مصرفی است که به شرکت‌های برق کمک می‌کند تا منابع خود را بهینه‌تر مدیریت کنند. همچنین، این الگوریتم‌ها می‌توانند در شناسایی ناهنجاری‌ها و مشکلات در سیستم‌های توزیع برق به کار گرفته شوند، که به افزایش قابلیت اطمینان و کاهش خرابی‌ها کمک می‌کند[۲۴].

۳-۳-مزایای استفاده از یادگیری ماشین

استفاده از یادگیری ماشین در شبکه‌های برق هوشمند مزایای زیادی دارد. این الگوریتم‌ها می‌توانند به بهینه‌سازی عملکرد منابع انرژی تجدیدپذیر کمک کنند و پیش‌بینی تولید انرژی از این منابع را بهبود بخشند.همچنین، با تحلیل داده‌های بزرگ، یادگیری ماشین می‌تواند به شناسایی روندها و الگوهای مصرف انرژی کمک کند و به شرکت‌ها این امکان را بدهد که تصمیمات بهتری در زمینه مدیریت انرژی اتخاذ کنند. در نهایت، یادگیری ماشین به عنوان یک ابزار نوآورانه، به تحول دیجیتال در صنعت انرژی و بهبود کارایی شبکه‌های برق هوشمند کمک می‌کند[۲۵].

۴-چالش‌ها و موانع پیاده‌سازی شبکه‌های برق هوشمند

پیاده‌سازی شبکه‌های برق هوشمند با چالش‌ها و موانع متعددی روبرو است که می‌تواند بر موفقیت این پروژه‌ها تأثیر بگذارد. یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها، هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه است. نصب و راه‌اندازی زیرساخت‌های جدید، از جمله حسگرها، نرم‌افزارها و سیستم‌های ارتباطی، نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجهی است که ممکن است برای برخی از شرکت‌ها دشوار باشد.

چالش دیگر، مسائل مربوط به امنیت سایبری است. با افزایش استفاده از فناوری‌های دیجیتال، خطر حملات سایبری نیز افزایش می‌یابد. این تهدیدات می‌توانند به شبکه‌های برق آسیب برسانند و قابلیت اطمینان آن‌ها را کاهش دهند. بنابراین، نیاز به توسعه راهکارهای امنیتی قوی و مؤثر برای حفاظت از این شبکه‌ها وجود دارد.

علاوه بر این، عدم هماهنگی و همکاری بین نهادهای مختلف، از جمله شرکت‌های برق، دولت‌ها و مصرف‌کنندگان، می‌تواند مانع از پیاده‌سازی موفق شبکه‌های برق هوشمند شود.همچنین، نیاز به آموزش و آگاهی‌بخشی به مصرف‌کنندگان درباره مزایای این شبکه‌ها و نحوه استفاده از آن‌ها نیز از دیگر چالش‌هاست. در نهایت، مسائل مربوط به استانداردسازی و یکپارچگی فناوری‌ها نیز می‌تواند بر روند پیاده‌سازی تأثیرگذار باشد و نیاز به همکاری بین‌المللی را افزایش دهد[۲۶].

۴-۱-هزینه‌های سرمایه‌گذاری

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در پیاده‌سازی شبکه‌های برق هوشمند، هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری اولیه است. نصب و راه‌اندازی زیرساخت‌های جدید، از جمله حسگرها، نرم‌افزارها و سیستم‌های ارتباطی، نیازمند سرمایه‌گذاری قابل توجهی است. این هزینه‌ها می‌تواند برای شرکت‌های برق و دولت‌ها به عنوان یک مانع جدی عمل کند و ممکن است باعث تأخیر در اجرای پروژه‌ها شود[۲۷].

۴-۲-امنیت سایبری

مسائل مربوط به امنیت سایبری یکی دیگر از چالش‌های مهم در شبکه‌های برق هوشمند است. با افزایش استفاده از فناوری‌های دیجیتال، خطر حملات سایبری نیز افزایش می‌یابد. این تهدیدات می‌توانند به شبکه‌های برق آسیب برسانند و قابلیت اطمینان آن‌ها را کاهش دهند. بنابراین، توسعه راهکارهای امنیتی قوی و مؤثر برای حفاظت از این شبکه‌ها ضروری است[۲۸].

۴-۳-عدم هماهنگی بین نهادها

عدم هماهنگی و همکاری بین نهادهای مختلف، از جمله شرکت‌های برق، دولت‌ها و مصرف‌کنندگان، می‌تواند مانع از پیاده‌سازی موفق شبکه‌های برق هوشمند شود. این عدم هماهنگی می‌تواند به ایجاد مشکلاتی در تبادل اطلاعات و تصمیم‌گیری‌های مشترک منجر شود و روند پیشرفت پروژه‌ها را کند کند[۲۹].

۴-۴-آگاهی و آموزش مصرف‌کنندگان

آموزش و آگاهی‌بخشی به مصرف‌کنندگان درباره مزایای شبکه‌های برق هوشمند و نحوه استفاده از آن‌ها نیز از دیگر چالش‌هاست. بسیاری از مصرف‌کنندگان ممکن است از فناوری‌های جدید و مزایای آن‌ها آگاهی نداشته باشند، که این موضوع می‌تواند مانع از پذیرش و استفاده مؤثر از این شبکه‌ها شود[۳۰].

۴-۵- استانداردسازی و یکپارچگی فناوری‌ها

مسائل مربوط به استانداردسازی و یکپارچگی فناوری‌ها نیز می‌تواند بر روند پیاده‌سازی تأثیرگذار باشد.عدم وجود استانداردهای مشترک می‌تواند به ایجاد مشکلاتی در ارتباط بین سیستم‌ها و دستگاه‌های مختلف منجر شود. بنابراین، نیاز به همکاری بین‌المللی و توسعه استانداردهای مشترک برای تسهیل پیاده‌سازی شبکه‌های برق هوشمند احساس می‌شود[۳۱].

۵-آینده شبکه‌های برق هوشمند

آینده شبکه‌های برق هوشمند به عنوان یکی از ارکان کلیدی در تحول صنعت انرژی به شمار می‌آید. با پیشرفت فناوری‌های نوین، انتظار می‌رود که این شبکه‌ها به طور فزاینده‌ای هوشمندتر و کارآمدتر شوند.یکی از روندهای مهم، افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است که به شبکه‌های برق هوشمند این امکان را می‌دهد تا به طور بهینه‌تری منابع انرژی را مدیریت کنند و به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی کمک کنند.

همچنین، با توسعه اینترنت اشیاء (IoT)، ارتباطات بین دستگاه‌ها و حسگرها بهبود خواهد یافت و این امر به جمع‌آوری و تحلیل داده‌های دقیق‌تر منجر می‌شود. این داده‌ها می‌توانند به پیش‌بینی بهتر بار مصرفی و بهینه‌سازی توزیع انرژی کمک کنند.

علاوه بر این، انتظار می‌رود که فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین نقش مهمی در تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری‌های هوشمند ایفا کنند. این فناوری‌ها می‌توانند به شناسایی الگوها و روندهای مصرف انرژی کمک کنند و به شرکت‌های برق این امکان را بدهند که خدمات بهتری به مشتریان ارائه دهند.

در نهایت، با افزایش آگاهی عمومی درباره تغییرات اقلیمی و اهمیت مدیریت پایدار انرژی، تقاضا برای شبکه‌های برق هوشمند نیز افزایش خواهد یافت. این تحولات می‌تواند به بهبود کیفیت خدمات، افزایش قابلیت اطمینان و کاهش هزینه‌ها منجر شود و در نهایت به یک سیستم انرژی پایدارتر و کارآمدتر کمک کند[۳۲].

۵-۱-افزایش استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر

آینده شبکه‌های برق هوشمند به طور فزاینده‌ای به سمت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر متمایل است. با توجه به تغییرات اقلیمی و نیاز به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، شبکه‌های برق هوشمند می‌توانند به بهینه‌سازی ادغام منابع انرژی تجدیدپذیر مانند خورشیدی و بادی کمک کنند. این امر به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش پایداری انرژی منجر خواهد شد[۳۳].

۵-۲-توسعه اینترنت اشیاء (IoT)

توسعه اینترنت اشیاء (IoT)به شبکه‌های برق هوشمند این امکان را می‌دهد که ارتباطات بین دستگاه‌ها و حسگرها بهبود یابد. این فناوری می‌تواند به جمع‌آوری داده‌های دقیق‌تر و تحلیل آن‌ها کمک کند، که در نتیجه به پیش‌بینی بهتر بار مصرفی و بهینه‌سازی توزیع انرژی منجر می‌شود[۳۴].

۵-۳-نقش هوش مصنوعی و یادگیری ماشین

فناوری‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در آینده شبکه‌های برق هوشمند نقش مهمی ایفا خواهند کرد. این فناوری‌ها می‌توانند به شناسایی الگوها و روندهای مصرف انرژی کمک کنند و به شرکت‌های برق این امکان را بدهند که تصمیمات بهتری در زمینه مدیریت بار و توزیع انرژی اتخاذ کنند[۳۵].

۵-۴- بهبود کیفیت خدمات

با پیشرفت فناوری و افزایش داده‌های جمع‌آوری شده، انتظار می‌رود که کیفیت خدمات ارائه شده به مصرف‌کنندگان بهبود یابد. شبکه‌های برق هوشمند می‌توانند به ارائه خدمات شخصی‌سازی شده و پاسخگو به نیازهای مشتریان کمک کنند و در نتیجه رضایت آن‌ها را افزایش دهند[۳۶].

۵-۵-افزایش آگاهی عمومی

با افزایش آگاهی عمومی درباره تغییرات اقلیمی و اهمیت مدیریت پایدار انرژی، تقاضا برای شبکه‌های برق هوشمند نیز افزایش خواهد یافت. این آگاهی می‌تواند به پذیرش بیشتر فناوری‌های جدید و همکاری مصرف‌کنندگان در مدیریت مصرف انرژی منجر شود و به ایجاد یک سیستم انرژی پایدارتر کمک کند[۳۷].

۶-نتیجه‌گیری

در نهایت، شبکه‌های برق هوشمند به عنوان یک راهکار کلیدی برای مقابله با چالش‌های انرژی در قرن ۲۱ شناخته می‌شوند. این شبکه‌ها با استفاده از فناوری‌های نوین، امکان مدیریت بهینه منابع انرژی، افزایش کارایی و کاهش هزینه‌ها را فراهم می‌آورند. با توجه به روند رو به رشد استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، شبکه‌های برق هوشمند می‌توانند به تسهیل ادغام این منابع کمک کنند و به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی منجر شوند.

علاوه بر این، با پیشرفت فناوری‌های ارتباطی و داده‌کاوی، انتظار می‌رود که شبکه‌های برق هوشمند به طور فزاینده‌ای هوشمندتر و پاسخگوتر شوند. این تحولات می‌توانند به بهبود کیفیت خدمات و افزایش رضایت مصرف‌کنندگان منجر شوند.

با این حال، برای دستیابی به این اهداف، نیاز به همکاری بین‌المللی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌ها و توسعه استانداردهای مشترک احساس می‌شود. همچنین، آموزش و آگاهی‌بخشی به مصرف‌کنندگان درباره مزایای این شبکه‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

در نهایت، آینده شبکه‌های برق هوشمند به عنوان یک عنصر کلیدی در ایجاد یک سیستم انرژی پایدار و کارآمد، نویدبخش است و می‌تواند به بهبود کیفیت زندگی و حفاظت از محیط زیست کمک کند.

مراجع

[1] AHMAD, Tanveer, et al. Data-driven probabilistic machine learning in sustainable smart energy/smart energy systems: Key developments, challenges, and future research opportunities in the context of smart grid paradigm. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2022, 160: 112128.

[2] HOSSAIN, Eklas, et al. Application of big data and machine learning in smart grid, and associated security concerns: A review. *Ieee Access*, 2019, 7: 13960-13988.

[3] TYAGI, Amit Kumar; TIWARI, Shrikant. 3 Machine Learning, Deep Learning, and Internet of Things–Based Smart Grids and Power Systems. *AI and Blockchain in Smart Grids: Fundamentals, Methods, and Applications*, 2025, 50.

[4] REYES-ACOSTA, Ricardo, et al. Analysis of machine learning-based approaches for securing the Internet of Things in the smart industry: a multivocal state of knowledge review. *International Journal of Information Security*, 2025, 24.1: 31.

[5] BASHIR, Ali Kashif, et al. Comparative analysis of machine learning algorithms for prediction of smart grid stability. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, 2021, 31.9: e12706.

[6] BERGHOUT, Tarek; BENBOUZID, Mohamed; MUYEEN, S. M. Machine learning for cybersecurity in smart grids: A comprehensive review-based study on methods, solutions, and prospects. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 2022, 38: 100547.

[7] MIRAFTABZADEH, Seyed Mahdi, et al. Advances in the application of machine learning techniques for power system analytics: A survey. *Energies*, 2021, 14.16: 4776.

[8] ALQUTHAMI, Thamer, et al. A performance comparison of machine learning algorithms for load forecasting in smart grid. *IEEE Access*, 2022, 10: 48419-48433.

[9] ZHANG, Dongxia; HAN, Xiaoqing; DENG, Chunyu. Review on the research and practice of deep learning and reinforcement learning in smart grids. *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 2018, 4.3: 362-370.

[10] OZAY, Mete, et al. Machine learning methods for attack detection in the smart grid. *IEEE transactions on neural networks and learning systems*, 2015, 27.8: 1773-1786.

[11] AHMED, Waqar, et al. Machine learning based energy management model for smart grid and renewable energy districts. *IEEe Access*, 2020, 8: 185059-185078.

[12] SHARIFHOSSEINI, Seyed Mohammad, et al. Investigating Intelligent Forecasting and Optimization in Electrical Power Systems: A Comprehensive Review of Techniques and Applications. *Energies*, 2024, 17.21: 5385.

[13] BAZ, Abdullah, et al. Deep fuzzy nets approach for energy efficiency optimization in smart grids. *Applied Soft Computing*, 2024, 161: 111724.

[14] WUEST, Thorsten, et al. Machine learning in manufacturing: advantages, challenges, and applications. *Production & Manufacturing Research*, 2016, 4.1: 23-45.

[15] YAN, Jihong, et al. Industrial big data in an industry 4.0 environment: Challenges, schemes, and applications for predictive maintenance. *IEEE access*, 2017, 5: 23484-23491.

[16] WEI, Yifei, et al. User scheduling and resource allocation in HetNets with hybrid energy supply: An actor-critic reinforcement learning approach. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2017, 17.1: 680-692.

[17] KUDELINA, Karolina, et al. Trends and challenges in intelligent condition monitoring of electrical machines using machine learning. *Applied Sciences*, 2021, 11.6: 2761.

[18] WANG, Hongxing, et al. Intelligent power grid monitoring and management strategy using 3D model visual computation with deep learning. *Energy Reports*, 2022, 8: 3636-3648.

[19] NAEEM, Hamad; ULLAH, Farhan; SRIVASTAVA, Gautam. Classification of intrusion cyber-attacks in smart power grids using deep ensemble learning with metaheuristic-based optimization. *Expert Systems*, 2025, 42.1: e13556.

[20] POWELL, Jadyn, et al. Smart grids: A comprehensive survey of challenges, industry applications, and future trends. *Energy Reports*, 2024, 11: 5760-5785.
[21] PARIZAD, Ali; BAGHAEE, Hamid Reza; RAHMAN, Saifur (ed.). *Smart Cyber-Physical Power Systems, Volume 1: Fundamental Concepts, Challenges, and Solutions*. John Wiley & Sons, 2025.
[22] NAJAFZADEH, Masoud, et al. Fault detection, classification and localization along the power grid line using optimized machine learning algorithms. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 2024, 17.1: 49.
[23] NAVEEDA, K.; FATHIMA, SMH Sithi Shameem. Real-time implementation of IoT-enabled cyberattack detection system in advanced metering infrastructure using machine learning technique. *Electrical Engineering*, 2025, 107.1: 909-928.
[24] MOSTAFA, Noha; RAMADAN, Haitham Saad Mohamed; ELFAROUK, Omar. Renewable energy management in smart grids by using big data analytics and machine learning. *Machine Learning with Applications*, 2022, 9: 100363.
[25] AJMAL, C. S., et al. Innovative Approaches in Regulatory Affairs: Leveraging Artificial Intelligence and Machine Learning for Efficient Compliance and Decision-Making. *The AAPS Journal*, 2025, 27.1: 22.
[26] BISWAS, Parag, et al. An Extensive and Methodical Review of Smart Grids for Sustainable Energy Management-Addressing Challenges with AI, Renewable Energy Integration and Leading-edge Technologies. *IEEE Access*, 2025.
[27] HAQUE, Abrarul, et al. Technical and Economic Challenges and Future Prospects of a Smart Grid-A Case Study. *Control Systems and Optimization Letters*, 2023, 1.3: 186-193.
[28] ACHAAL, Batoul, et al. Study of smart grid cyber-security, examining architectures, communication networks, cyber-attacks, countermeasure techniques, and challenges. *Cybersecurity*, 2024, 7.1: 10.
[29] RAI, Ila; SUCHETA, C. Microgrid and grid synchronization: A critical analysis of challenges and opportunities. *Electric Power Systems Research*, 2025, 242: 111434.
[30] MONACO, Roberto, et al. Digitalization of power distribution grids: Barrier analysis, ranking and policy recommendations. *Energy Policy*, 2024, 188: 114083.
[31] INCI, Mustafa, et al. Power system integration of electric vehicles: A review on impacts and contributions to the smart grid. *Applied Sciences*, 2024, 14.6: 2246.
[32] VELASQUEZ, Washington; MOREIRA-MOREIRA, Guillermo Z.; ALVAREZ-ALVARADO, Manuel S. Smart grids empowered by software-defined network: A comprehensive review of advancements and challenges. *IEEE Access*, 2024.
[33] HASSAN, Qusay, et al. Enhancing smart grid integrated renewable distributed generation capacities: Implications for sustainable energy transformation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 2024, 66: 103793.
[34] NASSEREDDINE, Mohamed; KHANG, Alex. Applications of Internet of Things (IoT) in smart cities. In: *Advanced IoT technologies and applications in the industry 4.0 digital economy*. CRC Press, 2024. p. 109-136.
[35] BALAMURUGAN, M., et al. Role of artificial intelligence in smart grid–a mini review. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 2025, 8: 1551661.
[36] AKRAM, Ali, et al. Smart energy management system using machine learning. *Computers, Materials & Continua*, 2024, 78.1.
[37] VIVEK, R.; GANESHKUMAR, S. 11 Smart Grid Technologies. *Efficient Energy Utilization and Emission Reduction Strategies in Plant Operations*, 2025, 176.

KNO-1201-4703

مدل هوش مصنوعی برای بهبود انتخاب CH در WSNها: بهینه سازی مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه با الگوریتم RDA

طاهره جوانمردی[۱]، th.javanmardi57@gmail.com
موسی مجرد[۲]، musa.mojarad@iau.ac.ir
[۱،۲]گروه کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

چکیده

این مقاله به بررسی یک روش انتخاب سر خوشه با انرژی کارآمد با استفاده از نسخه‌ای بهبود یافته از الگوریتم RDA می‌پردازد. این الگوریتم پارامترهایی نظیر فاصله سینک، انرژی باقیمانده، و میانگین فاصله درون خوشه‌ای را در نظر می‌گیرد و ویژگی‌های چند جهشی را برای بهبود طول عمر شبکه‌های حسگر بی‌سیم ارائه می‌دهد. طراحی تابع تناسب بر پایه انرژی باقیمانده گره‌ها و فاصله اقلیدسی آن‌ها تا ایستگاه پایه است. نتایج به‌دست‌آمده نشان‌دهنده عملکرد برتر این روش در مقایسه با سایر الگوریتم‌هاست. در مرحله ابتدایی (۰ تا ۵۰۰۰ دور)، هیچ‌گونه گره مرده‌ای وجود ندارد که نشان‌دهنده مصرف بهینه انرژی است. در مرحله میانی (۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ دور)، اگرچه تعداد گره‌ها کاهش می‌یابد، اما این کاهش نسبت به الگوریتم‌های دیگر کندتر است. در مرحله نهایی (بعد از ۷۰۰۰ دور)، تعداد گره‌های زنده بیشتر از سایر روش‌ها باقی می‌ماند، که حاکی از توانایی این الگوریتم در حفظ طول عمر شبکه است. در نهایت، این روش بهبود تقریباً ۲۰ در صدی در طول عمر شبکه و ۳۸۱,۴۴ در صد بهبود کلی را نسبت به الگوریتم‌های موجود نشان می‌دهد، که موید کارآمدی و اثرگذاری آن در مدیریت انرژی و افزایش طول عمر شبکه‌های حسگر بی سیم است.

واژه‌های کلیدی: انتخاب سر خوشه، انرژی کارآمد، الگوریتم RDA، طول عمر شبکه، مدیریت انرژی.

مقدمه

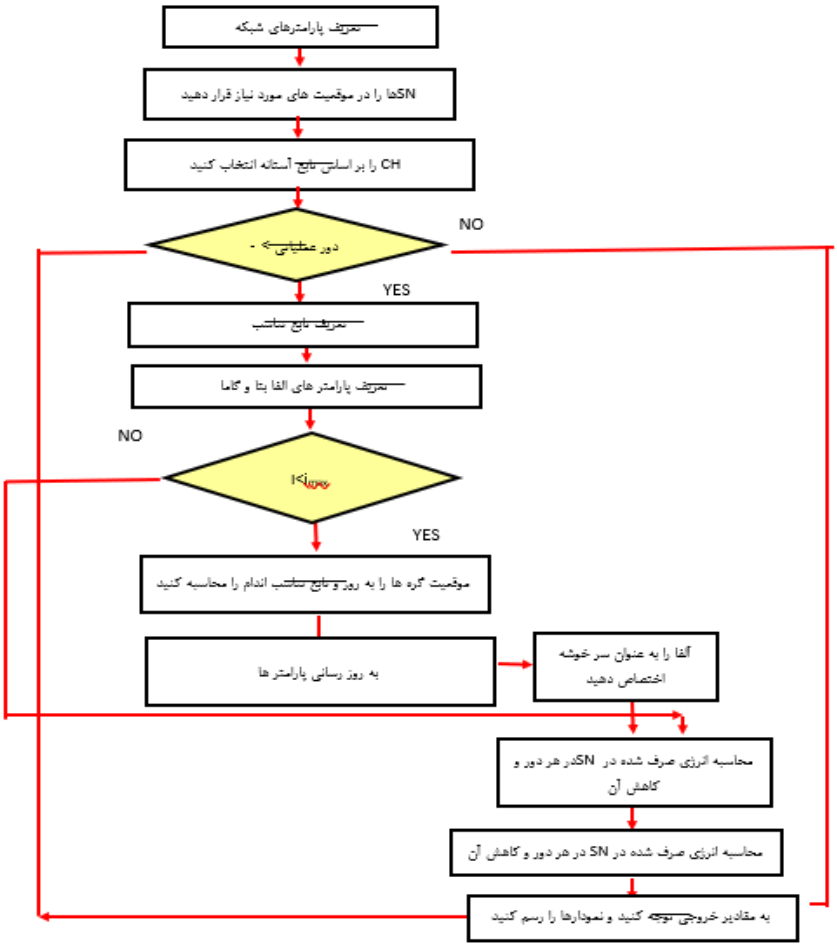
امروزه هوش مصنوعی (AI) با بهره‌گیری از الگوریتم‌های یادگیری ماشین و بهینه‌سازی، نقش مهمی در بهبود عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSN) ایفا می‌کند، به‌ویژه در انتخاب بهینه سرخوشه (CH) برای کاهش مصرف انرژی و افزایش طول عمر شبکه [۱]؛ ترکیب AI با اینترنت اشیا (IoT) نیز موجب تحلیل هوشمند داده‌ها، تصمیم‌گیری خودکار و بهینه‌سازی مصرف انرژی می‌شود، به‌گونه‌ای که AI به‌عنوان مغز سیستم‌های IoT عمل کرده و به افزایش بهره‌وری سیستم‌ها منجر می‌گردد [۲]. با رشد سریع اینترنت صنعتی اشیا (IIoT)، نیاز به راهکارهایی جهت کاهش مصرف انرژی و بهبود زمان پاسخ در سیستم‌های مبتنی بر رایانش ابری احساس می‌شود [۳][۴]. خوشه‌بندی، به‌عنوان یکی از تکنیک‌های مهم در WSN، با کاهش ارتباطات غیرضروری و گروه‌بندی هوشمند گره‌ها، بهره‌وری انرژی را بهبود می‌بخشد [۵] و الگوریتم‌های فراابتکاری مانند Red Deer Algorithm (RDA) به‌عنوان ابزارهای قدرتمند در این زمینه، با در نظر گرفتن پارامترهایی نظیر انرژی باقی‌مانده، فاصله از ایستگاه پایه و چگالی گره‌ها، به انتخاب CHهای بهینه و توزیع مناسب بار شبکه کمک می‌کنند [۶][۷][۸][۹][۱۰][۱۱]. استفاده از RDA منجر به افزایش قابل‌توجه پایداری، کاهش سربار ارتباطی و بهبود کیفیت خدمات (QoS) در WSNها، به‌ویژه در کاربردهای مقیاس‌پذیر و حساس به انرژی می‌شود.

کارهای گذشته

مطالعات [۱۲] تا [۲۹] به بررسی جامع روش‌های نوین بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSNs) با تمرکز بر الگوریتم‌های متاهیوریستیک و هوش مصنوعی پرداخته‌اند. این تحقیقات از رویکردهای مختلفی همچون خوشه‌بندی هوشمند، انتخاب بهینه سرخوشه، مسیریابی انرژی‌کارآمد، برداشت انرژی محیطی، و الگوریتم‌های ترکیبی مانند K-LionER، Bald Eagle، M-PSO، و Simulated Annealing برای افزایش طول عمر شبکه، کاهش مصرف انرژی، بهبود امنیت، و مدیریت منابع بهره برده‌اند. همچنین، برخی از مطالعات به کاربرد این الگوریتم‌ها در زمینه‌های پیشرفته‌تری نظیر شهرهای هوشمند و شبکه‌های ناهمگن اشاره کرده‌اند. هدف مشترک همه این مقالات، ارتقای عملکرد و پایداری WSNها از طریق بهینه‌سازی ساختار، زمان‌بندی، و انتقال داده‌ها در شرایط مختلف محیطی و کاربردی بوده است.

روش پیشنهادی

مفروضات کلیدی شامل استقرار تصادفی گره های حسگر، ایستگاه پایه واقع در مرکز با ارتباطات چند هاپ، تقسیم گره ها به گروه های مساوی، تحرک محدود گره، منبع تغذیه بدون وقفه برای ایستگاه پایه و گره های درگیر در ارتباط چند مسیره، و پایه است. ایستگاهی که الگوریتم انتخاب سر خوشه را اجرا می کند و داده های جمع آوری شده از همه سر خوشه ها را جمع آوری می کند.



شکل ۱. فلوچارت روش پیشنهادی

```
% Initialization
function WSN_RDA(num_nodes, max_iter)
  % Parameters
  population_size = 20;  % Number of red deer
  max_energy = 100;      % Initial energy of each node
  threshold_energy = 10; % Threshold energy for CH selection
  nodes = InitializeNodes(num_nodes, max_energy); % Initialize sensor nodes
  best_CH = [];         % Store the best Cluster Head
  best_fitness = 0;     % Best fitness value
  % Main loop for RDA
  for iter = 1:max_iter
    fitness = zeros(population_size, 1); % Fitness array for each deer
    % Evaluate fitness of each red deer
    for i = 1:population_size
      fitness(i) = EvaluateFitness(nodes, threshold_energy); % Define fitness evaluation
    end
        % Update best CH based on fitness
    [current_best_fitness, best_index] = max(fitness);
    if current_best_fitness > best_fitness
      best_fitness = current_best_fitness;
      best_CH = nodes(best_index); % Update best CH
    end
    % Update positions of red deer based on RDA
    for i = 1:population_size
      nodes(i) = UpdatePosition(nodes(i), best_CH, fitness(i)); % Update positions
    end
  end
    % Final CH selection
```

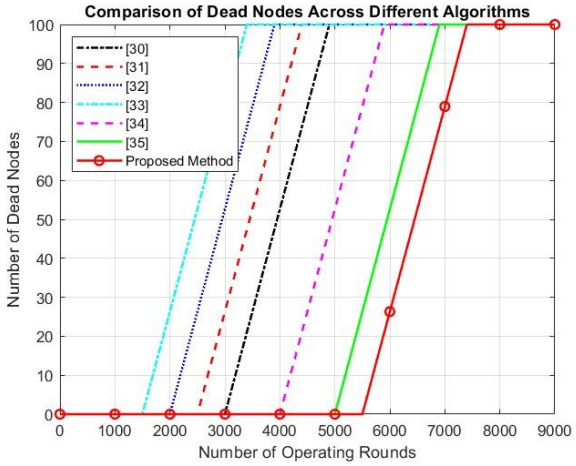
شکل۲. شبه کد متلب روش پیشنهادی

در این مقاله فرآیند بهبود انتخاب سرخوشه (CH) در شبکه‌های حسگر بی‌سیم (WSNs) با استفاده از الگوریتم قرمز [RDA] شرح داده شده است که شـــامل مراحل مختلفی اســـت: ابتدا با مرحله آغاز[Initialization] ، پارامترهایی مانند تعداد گره‌ها، اندازه جمعیت، و انرژی اولیه گره‌ها تعیین می‌شود. سپس در مرحله ارزیابی تناسب[Fitness Evaluation] ، گره‌ها بر اساس انرژی و فاصله‌شان از ایستگاه پایه سنجیده می‌شوند. در ادامه، بهترین ســرخوشــه با توجه به نتایج ارزیابی در مرحله به‌روزرســانی بهترین [Updating Best CH] CH انتخاب می‌شــود. در مرحله به‌روزرســانی موقعیت[Position Update] ، گوزن‌های قرمز به ســمت بهترین CH حرکت کرده و موقعیت آن‌ها بر اســاس تابع تناســب به‌روزرســانی می‌شــود. محاسبه فاصله [Distance Calculation] و مصرف انرژی [Energy Consumption Calculation] نیز بر اساس موقعیت گره‌ها و مدل مصرف ساده انجام می‌گیرد. سپس در مرحله محدودیت‌های موقعیت[Position Boundaries] ، موقعیت‌های جدید در محدوده تعیین شده نگه داشته می‌شوند. در نهایت، با مرحله نمایش نتایج[Display Results] ، بهترین CH به همراه موقعیت و انرژی باقی‌مانده‌اش ارائه می شود. این چارچوب بهینه سازی انتخاب سرخوشه را با در نظر گرفتن انرژی و فاصله ممکن ساخته و موجب افزایش طول عمر شبکه می‌شود.

نتایج روش پیشنهادی

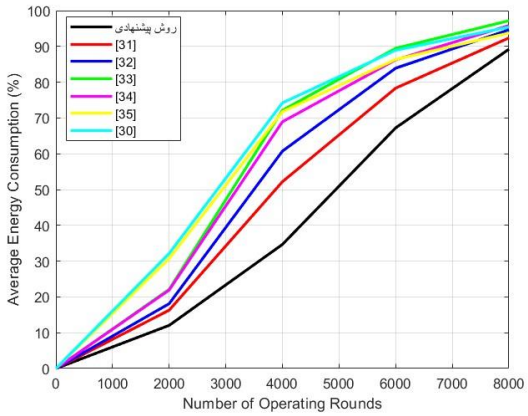
عملکرد الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های دیگر، مانند [۳۰]SSMOECHS، [۳۱]FGWSTERP، [۳۲]LEACH-PRO، [۳۳]HMGWO، و FIGWO[۳۴] و [۳۵] مقایسه شده است. این مقایسه در یک شبکه ۱۰۰ متر مربعی با ۱۰۰ گره حسگر انجام شده و معیارهایی نظیر مصرف انرژی متوسط، تعداد گره‌های مرده (برای سنجش پایداری شبکه)، و میانگین توان عملیاتی (تعداد بسته‌های تحویل داده شده به ایستگاه پایه) مورد بررسی

قرار گرفته‌اند. در این سیستم، گره‌های حسگر داده‌های خود را به سرخوشه‌ها ارسال می‌کنند و سرخوشه‌ها نیز داده‌های جمع‌آوری‌شده را از طریق گره‌های میانی ثابت به ایستگاه پایه می‌فرستند. طول عمر شبکه به دو دوره پایدار (از شروع تا مرگ اولین گره - FND) و ناپایدار (از FND تا مرگ آخرین گره - LND) تقسیم می‌شود که در این سناریو به ترتیب در دورهای ۵۹۴۰، ۶۶۰۴ و ۷۹۰۸ رخ داده‌اند. بهبود طول عمر الگوریتم پیشنهادی ناشی از حذف انتخاب تصادفی سرخوشه‌ها (CH) و بهره‌گیری از انتخاب مبتنی بر مقدار تناسب بهینه است، که توسط ایستگاه پایه انجام می‌شود و اطلاعات آن از طریق گره‌های چندهاپ با موقعیت ثابت و منبع تغذیه مداوم به سایر گره‌ها ارسال می‌شود. این روش باعث کاهش احتمال انتخاب گره‌های کم‌انرژی به عنوان CH شده و از مرگ زودهنگام آن‌ها جلوگیری می‌کند، که در نهایت موجب افزایش طول عمر شبکه می‌گردد.



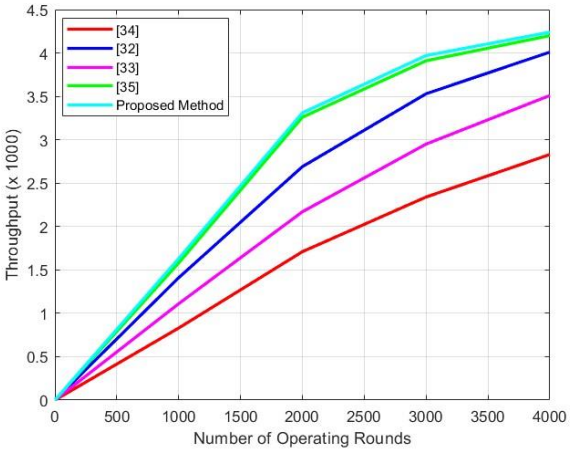
شکل ۳. طول عمر شبکه در دوره های پایدار و ناپایدار.

در شکل ۳ روش پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری دارد. تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد که در مرحله ابتدایی (۰ تا ۵۰۰۰ دور)، مشابه با [۳۵]، هیچ‌گونه گره مرده‌ای وجود ندارد که نشان‌دهنده مصرف بهینه انرژی است. در مرحله میانی (۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ دور)، روش پیشنهادی تعداد کمتری از گره‌ها را از دست می‌دهد و سرعت افزایش تعداد گره‌های مرده نسبت به [۳۵] کندتر است، که نشان‌دهنده مدیریت بهینه‌تر انرژی در این بازه است. در مرحله نهایی (بیش از ۷۰۰۰ دور)، این روش گره‌های زنده بیشتری نسبت به [۳۵] و سایر الگوریتم‌ها حفظ کرده و قادر است شبکه را فعال‌تر و برای مدت طولانی‌تری نگه دارد. به‌طور کلی، روش پیشنهادی موفق شده است تعداد گره‌های مرده را به طور قابل توجهی کاهش دهد و طول عمر شبکه را افزایش دهد. در مقایسه با [۳۵]، این روش ۲۰ در صد بهبود در طول عمر شبکه (زمان فعال بودن بدون گره مرده) ارائه می‌دهد، که این امر نشان‌دهنده بهره‌وری بیشتر در مصرف انرژی و طول عمر بیشتر شبکه است. همچنین، پروتکل پیشنهادی از قابلیت‌های بهینه‌سازی جهانی برتری برخوردار است که منجر به مصرف متعادل انرژی در میان گره‌ها و کاهش مصرف انرژی در گره‌های دور از ایستگاه پایه می‌شود.



شکل۴. میانگین مصرف انرژی الگوریتم روش پیشنهادی در مقایسه با سایر پروتکل ها.

در شکل ۴، میزان مصرف انرژی میانگین (٪) در برابر تعداد دورهای عملیاتی برای روش پیشنهادی و سایر روش‌های موجود مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. به‌ویژه، در تمامی نقاط داده، روش پیشنهادی مقدار کمتری از انرژی را مصرف می‌کند. به عنوان مثال، در ۴۰۰۰ دور عملیاتی، روش پیشنهادی با مصرف ۷۴,۲۱٪ انرژی نسبت به روش های دیگر دارد. همچنین، این روش در ۸۰۰۰ دور عملیاتی نیز مصرف انرژی پایین‌تری (۹۵,۴۳٪) در مقایسه با سایر روش‌ها.



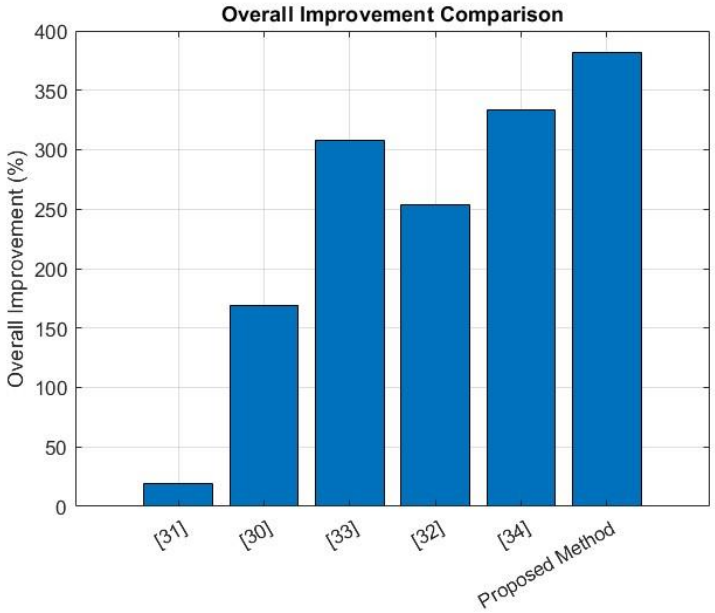
شکل ۵. میانگین توان مقایسه پروتکل روش پیشنهادی با سایر پروتکل ها.

در شکل ۵ با توجه به تجزیه و تحلیل پیشرفت‌ها در مقایسه با روش اصلی [۳۵]، در دورهای مختلف عملیاتی بهبودهایی مشاهده می‌شود. در ۱۰۰۰ دور عملیاتی، روش پیشنهادی با ۳,۱۶٪ بهبود (۱,۶۳ در مقایسه با ۱,۵۸) عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. در ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور، بهبودها به ترتیب ۱,۵۳٪ (۳,۳۱ در مقابل ۳,۲۶) و ۱,۵۳٪ (۳,۹۷ در مقابل ۳,۹۱) هستند. در ۴۰۰۰ دور عملیاتی، این بهبود به ۰,۹۵٪ کاهش می‌یابد (۴,۲۴ در مقابل ۴,۲۰). اگرچه پیشرفت‌ها در مقایسه با روش [۳۵] نسبتاً کوچک هستند، اما نشان می‌دهند که روش پیشنهادی می‌تواند عملکرد خروجی بهتری را در طیف وسیعی از دورهای عملیاتی ارائه دهد، که به بهینه‌سازی تدریجی در طول زمان اشاره دارد.

جدول ۱. مقایسه پایداری شبکه روش پیشنهادی با روش های دیگر

روش	FND	FND بهبود(%)	HND	HND بهبود(%)	LND	LND بهبود(%)	بهبود کلی بر حسب درصد
[31]	5500	8	5807	13.72	5841	35.38	۱۹,۰۳٪
[30]	2190	171.23	2600	154	2798	182.63	۱۶۹,۲۹٪
[33]	1450	309.65	1675	294.27	1884	319.75	۳۰۷,۸۹٪
[32]	1159	412.5	1720	283.95	4800	64.75	۲۵۳,۷۳٪
[35]	5940	—-	6604	—-	7908	—-	
[34]	1248	375.96	1612	309.68	1906	314.9	۳۳۳,۵۱٪
روش پیشنهادی	۶۱۲۰	۴۱۳,۵	۶۷۹۲	۳۱۲,۳۱	۸۱۰۰	۴۱۸,۵	۳۸۱,۴۴٪

روش پیشنهادی با ۳۸۱,۴۴٪ بالاترین درصد بهبود کلی را در مقایسه با سایر روش‌ها نشان می‌دهد. در حالی که روش‌های دیگر مانند [۳۱]، [۳۰]، [۳۳]، و [۳۴] به ترتیب بهبودهایی به میزان ۱۹,۰۳٪، ۱۶۹,۲۹٪، ۳۰۷,۸۹٪ و ۳۳۳,۵۱٪ داشته‌اند، روش [۳۵] هیچ درصد بهبودی ارائه نداده است. این نشان‌دهنده عملکرد برتر روش پیشنهادی در بهبود طول عمر شبکه و کاهش تعداد گره‌های مرده است، به ویژه در مقایسه با سایر الگوریتم‌های موجود.



شکل ۶. مقایسه روش پیشنهادی با روش های دیگر

با توجه به نمودار شکل ۶ روش پیشنهادی بالاترین بهبود کلی را با ۳۸۱,۴۴ درصد نشان می دهد. این نشان می دهد که به طور قابل توجهی بهتر از سایر روش ها عمل می کند، و نشان می دهد که بهبودهای انجام شده در این رویکرد بسیار مؤثر بوده است.

نتیجه‌گیری

این پایان‌نامه یک انتخاب سر خوشه با انرژی کارآمد را با استفاده از یک نسخه بهبود یافته از الگوریتم RDA پیشنهاد می‌دهد که بهینه‌سازی مصرف انرژی را با در نظر گرفتن فاصله سینک، انرژی باقیمانده، عامل متعادل‌کننده و میانگین فاصله درون خوشه‌ای به عنوان پارامترها انجام می‌دهد. این پروتکل با ویژگی‌های چند جهشی و طراحی تابع تناسب بر اساس انرژی باقیمانده گره‌ها و فاصله اقلیدسی آنها تا ایستگاه پایه، مصرف متعادل انرژی را در هر دور پشتیبانی کرده و از مرگ زودرس گره‌ها جلوگیری می‌کند. نتایج نشان می‌دهند که روش پیشنهادی در مقایسه با الگوریتم [۳۵] عملکرد بهتری دارد و در طول مراحل مختلف عملیاتی از جمله مرحله ابتدایی (۰ تا ۵۰۰۰ دور)، میانه (۵۰۰۰ تا ۷۰۰۰ دور) و نهایی (پس از ۷۰۰۰ دور)، تعداد گره‌های مرده را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد و شبکه را برای مدت طولانی‌تری فعال نگه می‌دارد. بهبودهای نسبتاً اندک در طی زمان‌های عملیاتی مختلف (۴,۶۲٪ در ۲۰۰۰ دور، ۳,۴۲٪ در ۴۰۰۰ دور، ۲,۹۵٪ در ۶۰۰۰ دور، ۱,۸۲٪ در ۸۰۰۰ دور) نشان‌دهنده بهبود عملکرد مصرف انرژی در مقایسه با روش [۳۵] است. در نهایت، روش پیشنهادی با ۳۸۱,۴۴٪ بالاترین بهبود کلی را در مقایسه با سایر روش‌ها ارائه می‌دهد، که نشان‌دهنده تأثیر مثبت بهبودهای انجام شده در این رویکرد است.

مراجع

[۱]Sadeghi Ghahroudi, M., Shahrabi, A., Ghoreyshi, S. M., & Alfouzan, F. A. (۲۰۲۳). Distributed node deployment algorithms in mobile wireless sensor networks: survey and challenges. ACM Transactions on Sensor Networks, ۱۹(۴), ۱-۲۶.

[2] Hossain, M., Kayas, G., Hasan, R., Skjellum, A., Noor, S., & Islam, S. R. (2024). A Holistic Analysis of Internet of Things (IoT) Security: Principles, Practices, and New Perspectives. Future Internet, 16(2), 40.

[3] Bali, M. S., Gupta, K., Gupta, D., Srivastava, G., Juneja, S., & Nauman, A. (2023). An effective technique to schedule priority aware tasks to offload data on edge and cloud servers. Measurement: Sensors, 26, 100670.

[4] Cong, P., Zhou, J., Wang, J., Wu, Z., & Hu, S. (2023). Learning-based cloud server configuration for energy minimization under reliability constraint. IEEE Transactions on Reliability, 73(1), 203-215.

[5] Oyewole, G. J., & Thopil, G. A. (2023). Data clustering: application and trends. Artificial Intelligence Review, 56(7), 6439-6475.

[6] Nassef, A. M., Abdelkareem, M. A., Maghrabie, H. M., & Baroutaji, A. (2023). Review of metaheuristic optimization algorithms for power systems problems. Sustainability, 15(12), 9434.

[7] Al-Baz, A.; El-Sayed, A. A new Algorithm for Cluster Head Selection in LEACH protocol for Wireless Sensor Networks. Int. J. Commun. Syst. 2018, 31, e3407. [Google Scholar] [CrossRef]

[8] Pour, S.E.; Javidan, R. A new energy aware cluster head selection for LEACH in wireless sensor networks. IET Wirel. Sens. Syst. 2021, 11, 45–53. [Google Scholar] [CrossRef]

[9] Ghosal, A.; Halder, S.; Das, S.K. Distributed on-demand clustering algorithm for lifetime optimization in wireless sensor networks. J. Parallel Distrib. Comput. 2020, 141, 129–142. [Google Scholar] [CrossRef]

[10] Arghavani, M.; Esmaeili, M.; Maryam, E.; Mohseni, F.; Arghavani, A. Optimal energy aware clustering in circular wireless sensor networks. Ad Hoc Netw. 2017, 65, 91–98. [Google Scholar] [CrossRef]

[11] Zhongdong, H.; Hualin, W.; Zhendong, W. Energy balanced adaptive clustering routing protocol for heterogeneous wireless sensor networks. Int. J. Wirel. Mob. Comput. 2019, 16, 264–271.

[12] Priyadarshi, R. (2024). Energy-efficient routing in wireless sensor networks: a meta-heuristic and artificial intelligence-based approach: a comprehensive review. Archives of Computational Methods in Engineering, 31(4), 2109-2137.

[13] Sahoo, B. M., & Sabyasachi, A. S. (2024). A Metaheuristic Algorithm Based Clustering Protocol for Energy Harvesting in IoT-Enabled WSN. Wireless Personal Communications, 1-26.

[14] Rekha, & Garg, R. (2024). K-LionER: meta-heuristic approach for energy efficient cluster based routing for WSN-assisted IoT networks. Cluster Computing, 1-15.

[15] Roberts, M. K., Thangavel, J., & Aldawsari, H. (2024). An improved dual-phased meta-heuristic optimization-based framework for energy efficient cluster-based routing in wireless sensor networks. Alexandria Engineering Journal, 101, 306-317.

[16] Salim, A., Khedr, A. M., & Osamy, W. (2024). Enhancing IoT-enabled Sustainable Smart Cities with Secure and Energy-Aware Data Collection using Meta-heuristic Technique. IEEE Sensors Journal.

[17] Gomaa, D., Abdel-Raouf, O., El-Hefnawy, N., & Kafafy, A. (2024). Meta-Heuristics optimization for mobile sink in WSNs based smart grid. IJCI. International Journal of Computers and Information, 11(2), 13-24.

[18] Janakiraman, S. (2024). Energy efficient clustering protocol using hybrid bald eagle search optimization algorithm for improving network longevity in WSNs. Multimedia Tools and Applications, 1-23.

[19] Prakash, V., Singh, D., Pandey, S., Singh, S., & Singh, P. K. (2024). Energy-Optimization Route and Cluster Head Selection Using M-PSO and GA in Wireless Sensor Networks. Wireless Personal Communications, 1-26.

[20] Kiran Kumar, G., K Prashanth, S., Padmalatha, E., Venkata Krishna Reddy, M., Rama Devi, N., Abualigah, L., ... & Kumar, M. (2024). An optimized meta-heuristic clustering-based routing scheme for secured wireless sensor networks. International Journal of Communication Systems, e5791.

[21] Puranikmath, V., & Iyer, S. (2024). Performance Evaluation of Cluster Head Selection Algorithm for Heterogeneous Wireless Sensor Networks. International Journal of Advanced Networking and Applications, 16(1), 6246-6253.

[22] Manoharan, J. S. (2023). A Metaheuristic Approach Towards Enhancement of Network Lifetime in Wireless Sensor Networks. KSII Trans. Internet Inf. Syst., 17(4), 1276-1295.

[23] Gülbaş, G., & Çetin, G. (2023). Lifetime optimization of the leach protocol in wsns with simulated annealing algorithm. Wireless Personal Communications, 132(4), 2857-2883.

[۲۴]Hameed, M. K., & Idrees, A. K. (۲۰۲۴). Energy-aware scheduling protocol-based hybrid metaheuristic technique to optimize the lifespan in WSNs. The Journal of Supercomputing, ۱-۲۱.

[25] Sharma, A., & Kansal, A. (2024). Enhanced CH selection and energy efficient routing algorithm for WSN. Microsystem Technologies, 1-13.

[26] Olatunde, T. M., Okwandu, A. C., Akande, D. O., & Sikhakhane, Z. Q. (2024). Reviewing the role of artificial intelligence in energy efficiency optimization. Engineering Science & Technology Journal, 5(4), 1243-1256.

[27] Priyadarshi, R. (2024). Energy-efficient routing in wireless sensor networks: a meta-heuristic and artificial intelligence-based approach: a comprehensive review. Archives of Computational Methods in Engineering, 31(4), 2109-2137.

[28] Forghani, M., Soltanaghaei, M., & Boroujeni, F. Z. (2024). Dynamic optimization scheme for load balancing and energy efficiency in software-defined networks utilizing the krill herd meta-heuristic algorithm. Computers and Electrical Engineering, 114, 109057.

[29] Fathollahi-Fard, A. M., Hajiaghaei-Keshteli, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2020). Red deer algorithm (RDA): a new nature-inspired meta-heuristic. Soft computing, 24, 14637-14665.

[30] Lee, J.-G.; Chim, S.; Park, H.-H. Energy-Efficient Cluster-Head Selection for Wireless Sensor Networks Using Sampling-Based Spider Monkey Optimization. Sensors 2019, 19, 5281. [Google Scholar] [CrossRef]

[31] Mittal, N.; Singh, U.; Salgotra, R.; Sohi, B.S. An energy efficient stable clustering approach using fuzzy extended grey wolf optimization algorithm for WSNs. Wirel. Netw. 2019, 25, 5151–5172. [Google Scholar] [CrossRef]

[32] Yousif, Z.; Hussain, I.; Djahel, S.; Hadjadj-Aoul, Y. A Novel Energy-Efficient Clustering Algorithm for More Sustainable Wireless Sensor Networks Enabled Smart Cities Applications. J. Sens. Actuator Netw. 2021, 10, 50. [Google Scholar] [CrossRef]

[33] Zhao, X.; Ren, S.; Quan, H.; Gao, Q. Routing Protocol for Heterogeneous Wireless Sensor Networks Based on a Modified Grey Wolf Optimizer. Sensors 2020, 20, 820. [Google Scholar] [CrossRef]

[34] Zhao, X.; Zhu, H.; Aleksic, S.; Gao, Q. Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks Based on Improved Grey Wolf Optimizer. KSII Trans. Internet Inf. Syst. 2018, 12, 2644–2657.

[35] Rami Reddy, M., Ravi Chandra, M. L., Venkatramana, P., & Dilli, R. (2023). Energy-efficient cluster head selection in wireless sensor networks using an improved grey wolf optimization algorithm. Computers, 12(2), 35.

KNO-1201-4704

بهبود تشخیص کارآمد چهره با کمک الگوریتم های بهینه سازی ترکیبی BRO-GOA و شبکه عصبی کانولوشن عمیق

معصومه زمانی پور[۱] Masomehzamani61@gmail.com
محمدنبی امیدوار[۲] mo.omidvar@iau.ac.ir

[۱،۲]گروه کامپیوتر، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران

چکیده

فناوری تشخیص چهره با چشم‌اندازهای امیدبخش خود، در مواجهه با چالش‌هایی چون تغییر وضعیت، انسداد جزئی، تغییرات بیان، روشنایی و داده‌های جانبی، با محدودیت‌هایی روبرو است. این تحقیق یک الگوریتم بهینه‌سازی ترکیبی از BRO-GOA و شبکه عصبی کانولوشن عمیق را برای افزایش دقت و کارایی تشخیص چهره در محیط‌های مزاحم معرفی می‌کند. هدف اصلی این مقاله ایجاد یک رویکرد یادگیری عمیق مبتنی بر بهینه‌سازی برای تشخیص تصاویر چهره است که قادر به پردازش داده‌های پیچیده و نویزی باشد. الگوریتم Battle Royale Optimization Algorithm (BRO) و سیستم فازی نوع II برای حذف نویز و بهبود پردازش بعدی در این مدل به کار رفته‌اند. نتایج تحلیل مقایسه‌ای نشان می‌دهند که مدل پیشنهادی در تمامی مقادیر داده‌های آموزشی LFW، بالاترین دقت را داشته و با افزایش داده‌ها، دقت آن از ۰,۹۱۶۵ به ۰,۹۷۴۳ ارتقا می‌یابد. در مقایسه با سایر مدل‌ها، این روش کاهش قابل توجهی در نرخ خطای اشتباه پذیرش (FAR) از ۰,۴۸ به ۰,۱۸ و همچنین نرخ خطای رد اشتباه (FRR) از ۰,۱۷۵ به ۰,۰۷۲ نشان می‌دهد. مدل پیشنهادی همچنین در تمامی زوایای روشنایی، به ویژه در زاویه‌های ۰ و ۲۰ درجه با دقت‌های ۰,۹۲۹۳ و ۰,۹۴۰۳، بهبود عملکرد چشمگیری داشته است. این نتایج حاکی از پایداری بیشتر و عملکرد بهتر این مدل نسبت به سایر روش‌ها در شرایط متغیر و محیط‌های نویزی هستند. در نهایت، روش پیشنهادی با دقت بالا و عملکرد بهینه، انتخاب مناسبی برای کاربردهای واقعی تشخیص چهره در محیط‌های پیچیده است.

کلمات کلیدی: تشخیص چهره، الگوریتم بهینه‌سازی، شبکه عصبی کانولوشن، Battle Royale Optimization, دقت.

مقدمه

با پیشرفت روزافزون فناوری در حوزه سیستم‌های بیومتریک، تشخیص چهره به یکی از مهم‌ترین ابزارها در بینایی ماشین و بینایی رایانه تبدیل شده است [۱]. سیستم‌های بیومتریک، مانند تشخیص چهره، به دلیل قابلیت اطمینان بالا و پتانسیل عملکرد موفق در شرایط سخت یا در برابر جعل، توجه بسیاری را به خود جلب کرده‌اند. فناوری‌های پیشرفته‌ای مانند شبکه‌های عصبی کانولوشن عمیق (DCNN) همراه با مجموعه داده‌های بزرگ آموزشی، موجب پیشرفت‌های چشمگیر در این زمینه شده‌اند. در حال حاضر، این سیستم‌ها در حوزه‌هایی مانند نظارت تصویری، کنترل دسترسی ساختمان، و خودروهای خودران کاربرد گسترده‌ای دارند [۲]. با وجود این، چالش‌هایی همچون نورپردازی متغیر، انسداد، وضوح پایین تصویر، و ژست‌های متفاوت چهره، دقت تشخیص را تحت تأثیر قرار می‌دهند [۳]. در این میان، یادگیری عمیق نقش کلیدی در پردازش و پیش‌پردازش داده‌ها ایفا می‌کند و می‌تواند از داده‌های دارای برچسب یا بدون برچسب، ویژگی‌های سطح بالا استخراج کند. مدل‌های عمیق به موفقیت‌های چشمگیری در زمینه‌هایی مانند تشخیص تصویر و گفتار، NLP، و حتی تحلیل DNA دست یافته‌اند. با این حال، این مدل‌ها نیز محدودیت‌هایی مانند ناتوانی در حذف کامل تغییرات ژستی خارج از صفحه دارند [۴-۵]. از سوی دیگر، استفاده از الگوریتم‌های فرابتکاری ترکیبی مانند BRO-GOA در تشخیص چهره، با ترکیب چندین استراتژی بهینه‌سازی، موجب افزایش دقت و سرعت تشخیص در شرایط نوری و پس‌زمینه مختلف شده و در برنامه‌های نظارتی

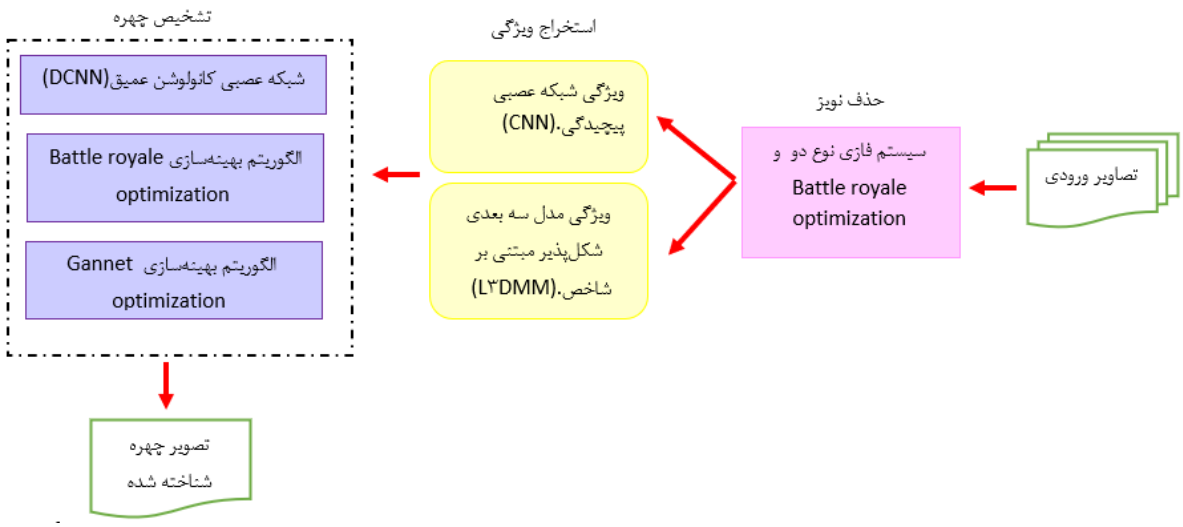
و امنیتی، نقش ارزشمندی ایفا می‌کنند. این الگوریتم‌ها از طریق انتخاب ویژگی‌های مؤثر و بهینه‌سازی پارامترها، پردازش‌های پیچیده را ساده‌تر کرده و تشخیص چهره را در زمان واقعی تسهیل می‌نمایند.

کارهای گذشته

در مجموعه مقالات [۶] تا [۱۲]، نقش کلیدی یادگیری عمیق در بهبود سیستم‌های تشخیص چهره، شناسایی هویت، تحلیل احساسات و کاربردهای امنیتی و بهداشتی مورد بررسی قرار گرفته است. مقاله [۶] به بهبود سیستم حضور و غیاب با استفاده از شبکه‌های CNN پرداخته و مقاله [۷] الگوریتم MTCNN++ را برای تشخیص دقیق اجزای چهره معرفی کرده است. مقاله [۸] چالش‌های تشخیص چهره در تصاویر پهپادی را بررسی می‌کند و مقاله [۹] با ترکیب یادگیری عمیق و الگوریتم بهینه‌سازی هیبریدی، روشی مؤثر برای تشخیص آفات ارائه می‌دهد. مقاله [۱۰] نیز با بهره‌گیری از شبکه‌های یادگیری عمیق و الگوریتم گرگ خاکستری به شناسایی هویت از طریق اثر کف دست پرداخته است. مقاله [۱۱] روش بی‌لینیری پولینگ را برای شناسایی دقیق حالات چهره معرفی کرده و مقاله [۱۲] نیز مدلی برای شناسایی ماسک صورت در محیط‌های IoT با یادگیری عمیق پیشنهاد داده است.

روش پیشنهادی

در اینجا، مدل شبکه عصبی پیچشی عمیق مبتنی بر الگوریتم فرااابتکاری ترکیبی برای شناسایی چهره پیشنهاد شده است. نمای مدل پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است:



شکل ۱. نمای شماتیک روش پیشنهادی تشخیص چهره

در ابتدا، تصویر ورودی تحت یک مرحله حذف نویز قرار می‌گیرد تا نویز از آن حذف شود و برای پردازش‌های بعدی مناسب گردد. حذف نویز با استفاده از [۱۳] انجام می‌شود که به شناسایی پیکسل‌های نویزی در تصویر برای بهبود پردازش کمک می‌کند. پس از مرحله حذف نویز، استخراج ویژگی‌ها با استفاده از مدل شبکه عصبی پیچشی (CNN) و DMM۳L [۱۴] انجام می‌شود. در اینجا، CNN یک شبکه عصبی چند لایه با معماری خاص برای شناسایی ویژگی‌های پیچیده داده‌ها است و ویژگی DMM۳L برای برازش یک چهره سه‌بعدی از تصویر غیرمحدود به کار می‌رود. ویژگی‌های به‌دست‌آمده برای شناسایی چهره به شبکه عصبی پیچشی عمیق (Deep CNN) داده می‌شوند. آموزش شبکه عصبی عمیق با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی Gannet optimization algorithm انجام می‌شود. همچنین حذف نویز با استفاده از سیستم فازی نوع II و فیلتر Battle royale optimization algorithm انجام میگیرد.

```
% 1. بارگذاری تصویر ورودی
inputImage = imread('path_to_image.jpg');
% 2. حذف نویز با استفاده از T2FCS و سیستم فازی نوع II
% (را پیاده‌سازی کنید II و سیستم فازی نوع T2FCS توجه داشته باشید که باید)
denoisedImage = T2FCS(inputImage); % تابع T2FCS برای حذف نویز
% 3. حذف نویز با استفاده از فیلتر Battle Royale Optimization Algorithm (BRO)
% (باید انجام شود BRO پیاده‌سازی)
denoisedImageBRO = BRO(denoisedImage); % اعمال الگوریتم BRO برای حذف نویز
% 4. استخراج ویژگی‌ها با استفاده از L3DMM و CNN
% برای استخراج ویژگی‌ها استفاده می‌شود CNN ابتدا شبکه
cnnLayers = [
    imageInputLayer([224 224 3], 'Name', 'input')
    convolution2dLayer(3, 32, 'Padding', 'same', 'Name', 'conv1')
    batchNormalizationLayer('Name', 'BN1')
    reluLayer('Name', 'relu1')
    convolution2dLayer(3, 64, 'Padding', 'same', 'Name', 'conv2')
    batchNormalizationLayer('Name', 'BN2')
    reluLayer('Name', 'relu2')
    maxPooling2dLayer(2, 'Stride', 2, 'Name', 'maxpool')
    fullyConnectedLayer(256, 'Name', 'fc1')
    reluLayer('Name', 'relu_fc')
    fullyConnectedLayer(128, 'Name', 'fc2')
    softmaxLayer('Name', 'softmax')
    classificationLayer('Name', 'classOutput')
];
% استخراج ویژگی‌های تصویر از شبکه CNN
features = activations(cnnLayers, denoisedImageBRO, 'fc2'); % استخراج از لایه fc2
% 5. برای برازش چهره سه‌بعدی L3DMM استفاده از
% (را برای مدل‌سازی چهره سه‌بعدی از تصویر استفاده کنید L3DMM)
l3dmmFeatures = L3DMM(features); % استخراج ویژگی‌های چهره سه‌بعدی
% 6. آموزش شبکه عصبی پیچشی عمیق (Deep CNN) با استفاده از الگوریتم GOA
% برای بهینه‌سازی وزن‌های شبکه عصبی Gannet Optimization (GOA) الگوریتم
optimizedNet = GOA(cnnLayers, l3dmmFeatures); % بهینه‌سازی شبکه با GOA
% 7. طبقه‌بندی چهره‌ها با استفاده از شبکه عصبی بهینه‌شده
% تابع طبقه‌بندی شبکه عصبی آموزش‌دیده بر اساس ویژگی‌های استخراج‌شده
predictedLabel = classify(optimizedNet, denoisedImageBRO);
```

شکل ۲. شبه کد روش پیشنهادی

در این مقاله، فرآیند شناسایی چهره با بهره‌گیری از الگوریتم‌های ترکیبی [BRO-GOA] و شبکه عصبی کانولوشن عمیق [CNN] به صورت مرحله‌به‌مرحله انجام شده است. ابتدا تصویر ورودی بارگذاری می‌شود و نویز آن با استفاده از روش [FCS۲T] و سیستم فازی نوع دوم حذف می‌گردد. سپس الگوریتم بهینه‌سازی [BRO] برای بهبود بیشتر کیفیت تصویر و حذف نویزهای باقی‌مانده به کار گرفته می‌شود. پس از پاک‌سازی تصویر، ویژگی‌های کلیدی چهره با استفاده از [CNN] و مدل [DMM۳L] استخراج می‌شوند. مدل [DMM۳L] کمک می‌کند تا چهره از حالت دوبعدی به حالت سه‌بعدی تبدیل شده و ویژگی‌های دقیق‌تری جهت پردازش آماده شوند. در ادامه، الگوریتم بهینه‌سازی [GOA] برای تنظیم وزن‌های شبکه عصبی مورد استفاده قرار می‌گیرد تا عملکرد تشخیص بهبود یابد. شبکه عصبی آموزش‌دیده سپس برای طبقه‌بندی چهره‌ها و تشخیص هویت افراد به کار می‌رود. عملکرد مدل با آزمایش آن روی مجموعه‌ای از داده‌های

جدید ارزیابی شده و معیار [دقت مدل] از طریق مقایسه خروجی پیش‌بینی‌شده با برچسب‌های واقعی محاسبه می‌شود. این چارچوب ترکیبی با بهره‌گیری از الگوریتم‌های هوشمند و مدل‌های پیشرفته عصبی، دقت و کارایی فرایند شناسایی چهره را به شکل قابل‌توجهی افزایش می‌دهد.

حذف نویز با استفاده از سیستم فازی نوع II و فیلتر Battle royale optimization algorithm

حذف نویز یکی از چالش‌های اساسی در پردازش سیگنال است که می‌تواند تأثیر زیادی بر کیفیت داده‌ها و تحلیل‌های بعدی داشته باشد. سیستم‌های فازی نوع II به دلیل توانایی‌شان در مدیریت عدم قطعیت و ابهام، ابزارهای مؤثری برای این کار به شمار می‌آیند. این سیستم‌ها به‌جای استفاده از مقادیر دقیق، مجموعه‌هایی از اعداد را برای نمایش عدم قطعیت به کار می‌برند. به این ترتیب، می‌توانند با داده‌های نویزی و غیرقابل پیش‌بینی به‌خوبی کنار بیایند و در نهایت سیگنال‌های تمیزتری را ارائه دهند. فیلترهای مبتنی بر الگوریتم بهینه‌سازی نبرد رویال (Battle Royale Optimization Algorithm) نیز به‌عنوان یک روش نوین در حذف نویز شناخته می‌شوند. این الگوریتم با الهام از استراتژی‌های رقابتی در طبیعت، به جستجوی بهینه‌ترین راه‌حل‌ها می‌پردازد. در این روش، هر یک از پروتوتیپ‌ها (نمونه‌ها) که نماینده یک راه‌حل هستند، با یکدیگر رقابت می‌کنند و در نهایت بهترین نمونه‌ها به‌عنوان راه‌حل نهایی انتخاب می‌شوند. چنین روشی می‌تواند به بهینه‌سازی پارامترهای فیلتر و بهبود کارایی سیستم کمک کند.

فرمول‌های مربوط به این دو تکنیک می‌توانند شامل توابع عضویت در سیستم‌های فازی و معیارهای بهینه‌سازی در الگوریتم نبرد رویال باشند. تابع عضویت فازی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mu(x) = \frac{x-a}{b-a} \quad \text{for } a \le x \le b \qquad (۱)$$

برای بیان قدرت و موقعیت نمونه‌ها در الگوریتم بهینه‌سازی نبرد رویال، از فرمول‌های زیر استفاده میشود:

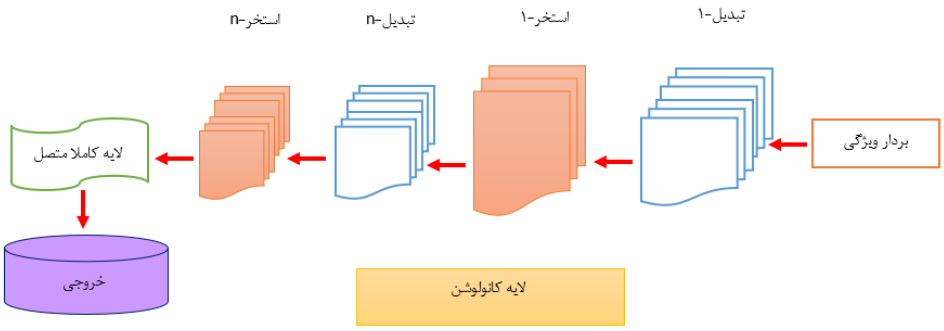
$$P_i = f(x_i) \quad \text{where } i = 1, 2, \ldots, n \qquad (۲)$$

$$x_{i+1} = x_i + r \cdot (x_j - x_i) \quad \text{for } j \text{ being a better solution} \qquad (۳)$$

فرمول تابع عضویت فازی شامل متغیرهایی است که به مدیریت عدم قطعیت در داده‌ها کمک می‌کنند؛ به‌طوری‌که μ (x) درجه تعلق عنصر x به یک مجموعه فازی را نشان می‌دهد و مقادیر a و b حدوده‌ای را تعیین می‌کنند که در آن تابع تعریف می‌شود. در الگوریتم بهینه‌سازی نبرد رویال، متغیرها شامل i PiP به‌عنوان قدرت نمونه i و تابع هدف (xi)fهستند که کیفیت نمونه‌ها را ارزیابی می‌کنند. موقعیت‌های جدید با استفاده از موقعیت فعلی ix و موقعیت یک نمونه بهتر jx به‌روزرسانی می‌شوند و فاکتور تصادفی r به این تغییرات تنوع می‌بخشد. این ترکیب به بهبود کیفیت سیگنال‌ها و حذف نویز کمک می‌کند.

استخراج ویژگی بر اساس ویژگی های CNN و ویژگی مدل سه بعدی شکل پذیر فعال شده (L3DMM)

پس از حذف نویز از تصویر، مرحله استخراج ویژگی با هدف شناسایی دقیق چهره آغاز می‌شود. در این مرحله، ترکیبی از ویژگی‌های شبکه عصبی کانولوشنی عمیق (CNN) و مدل سه‌بعدی چهره (DMM۳L) مورد استفاده قرار می‌گیرد. تصویر پاک‌سازی‌شده به شبکه ۱۹VGG داده می‌شود تا ویژگی‌هایی با ابعاد [۱×۲۵۶] از طریق لایه‌های کانولوشن، pooling و fully connected استخراج گردد. هم‌زمان، با استفاده از روش DMM۳L که مبتنی بر تحلیل اجزای اصلی است، مدل سه‌بعدی چهره از تصویر دوبعدی بازسازی می‌شود تا شرایط نوری و ساختار هندسی چهره به‌صورت دقیق در نظر گرفته شود. ترکیب این دو نوع ویژگی موجب بهبود همگرایی، افزایش دقت شناسایی و تسهیل در تطابق مدل چهره می‌گردد.



شکل ۳. ساختار شبکه عصبی کانولوشن عمیق برای ساخت نقشه پیش بینی.

فرض کنید ورودی شبکه عصبی کانولوشن عمیق G است، و بنابراین، خروجی از لایه کانولوشن توسط فرمول زیر محاسبه می شود.

$$(\mathrm{M}_c^b)_{i,j} = \left(B_c^b\right)_{i,j} + \sum_{d=1}^{\varpi_1^{d-1}} \sum_{k=-\varpi_1^l}^{\varpi_1^l} \sum_{n=-\varpi_1^l}^{\varpi_2^l} \left(\vartheta_{c,d}^b\right)_{k,n} * \left(J\right)_{i+k,j+n} \qquad (۴)$$

عملیات کانولوشن با نماد * نشان داده می شود و نقشه های ویژگی ثابت به صورت $Bbc)i$ ، j نمایش داده می شوند. خروجی از $t\ h$ (b-1) لایه به عنوان ورودی لایه کانولوشنال $lt\ h$ عمل می کند. وزن لایه کانولوشن به صورت ϑbc، d نشان داده می شود و سوگیری لایه کانولوشنال $bt\ h$ به صورت Bbc بیان می شود. نقشه های ویژگی با ، k و n نشان داده می شوند.

نتایج روش پیشنهادی

نتایج روش پیشنهادی در قالب جداول و نمودار در این فصل بیان خواهد شد. پیاده سازی با استفاده از نرم افزار متلب ورژن ۲۰۲۲ با استفاده از چهره های برچسب گذاری شده در مجموعه داده (LFW)[15]، پایگاه داده مجموعه داده چهره سه بعدی (UMB-DB) [16] و پایگاه داده توسعه یافته Yale B [17]| نجام می شود. پایگاه داده Extended Yale B شامل ۱۶۱۲۸ تصویر از سوژه های انسانی با ۶۴ وضعیت روشنایی و ۹ حالت است. پایگاه داده UMB-DB متشکل از ۱۴۷۳ جفت تصویر رنگی و عمقی با ۱۴۳ سوژه، با حالات مختلف چهره و اشیاء نیمه بسته مانند کلاه، دست و روسری است که در مجموع شامل ۵۷۸ عکس مسدود شده است. پایگاه داده LFW حاوی چهره های برچسب گذاری شده برای تأیید چهره با تصاویر اصلی و تراز شده است. شکل ۴ تصاویری از افراد به دست آمده با استفاده از پایگاه داده LFW را نشان می دهد.



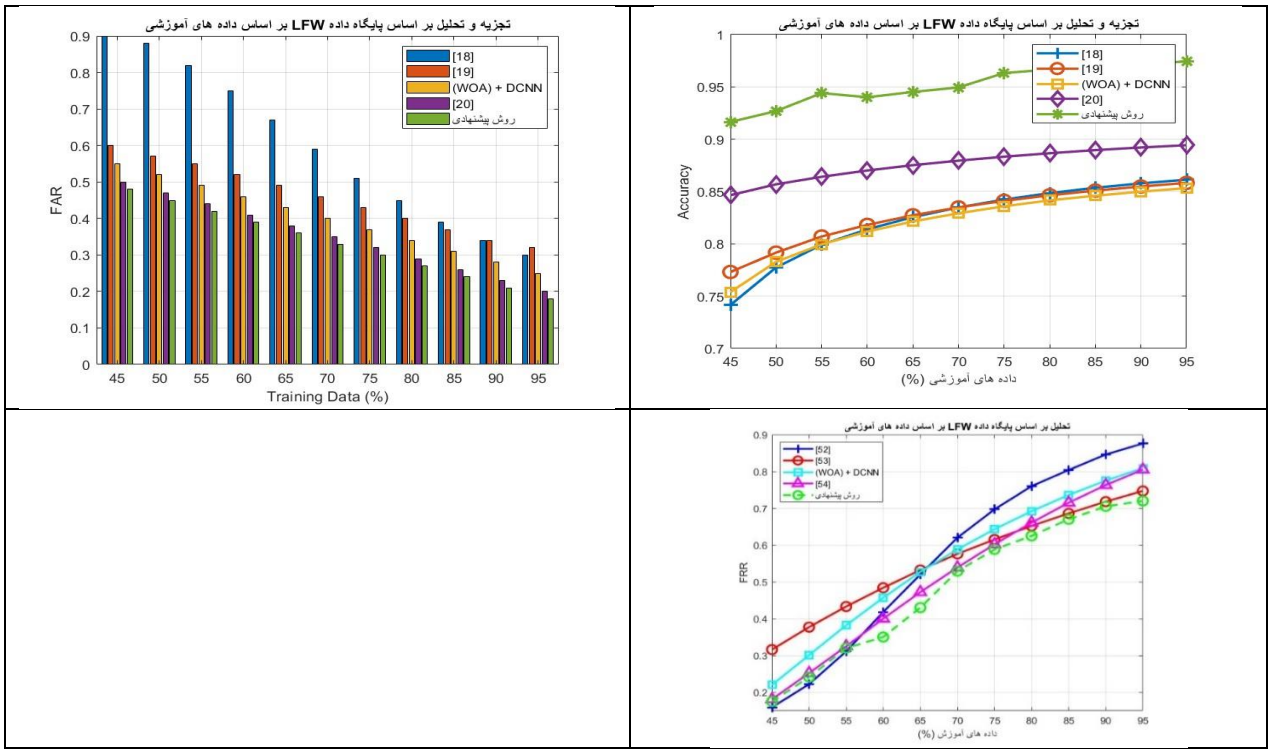
شکل ۴. نتایج تصویر با استفاده از چهره های برچسب گذاری شده در پایگاه داده (LFW)

در این پایان نامه، روش‌های مورد استفاده برای مقایسه عبارتند از: [18]، [19]، Whale Optimization Algorithm (WOA) + DCNN و [20].

در ادامه یک ارزیابی مقایسه‌ای از روش پیشنهادی را با استفاده از سه مجموعه داده مجزا، با تمرکز بر معیارهای دقت، نرخ پذیرش نادرست (FAR) و نرخ رد نادرست (FRR) ارائه میکنیم.

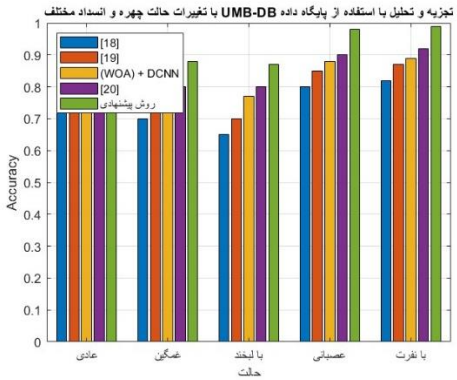
تحلیل با استفاده از پایگاه داده LFW

مدل پیشنهادی معرفی‌شده، بر روی مجموعه داده LFWدر شرایط گوناگونی از میزان داده‌های آموزشی و سطوح مختلف نویز بررسی شده است. شکل ۵ نشان‌دهنده مقایسه عملکرد این مدل با سایر روش‌های سنتی از نظر دقت، نرخ پذیرش اشتباه(FAR) ، و نرخ رد اشتباه (FRR) در درصدهای مختلفی از داده‌های آموزشی است.



شکل۵. تجزیه و تحلیل بر اساس پایگاه داده LFW بر اساس داده های آموزشی.

در تحلیل مقایسه‌ای عملکرد مدل‌ها بر اساس داده‌های آموزشی مجموعه LFW، نتایج حاکی از برتری مدل پیشنهادی در تمامی معیارهای ارزیابی است. این مدل در معیار دقت (Accuracy) از مقدار ۰,۹۱۶۵ در ۴۵ درصد داده‌های آموزشی شروع کرده و با افزایش میزان داده‌ها به دقت ۰,۹۷۴۳ در ۹۵ درصد می‌رسد که در مقایسه با سایر مدل‌ها بالاترین نرخ دقت را نشان می‌دهد. همچنین، بررسی نرخ خطای پذیرش اشتباه (FAR) بیانگر آن است که مدل پیشنهادی در تمامی درصدهای آموزش، پایین‌ترین نرخ خطا را دارد و مقدار آن از ۰,۴۸ به ۰,۱۸ کاهش می‌یابد. این روند نزولی نشان‌دهنده افزایش پایداری و توانایی مدل در تفکیک صحیح نمونه‌هاست. در تحلیل نرخ خطای رد اشتباه (FRR) نیز مدل پیشنهادی با روندی آهسته‌تر در افزایش خطا نسبت به سایر روش‌ها عمل کرده، به‌طوری که از مقدار اولیه ۰,۱۷۵ به ۰,۷۲ در بیشترین داده‌های آموزشی می‌رسد. این نتایج به‌طور کلی بیانگر عملکرد دقیق، پایدار و بهینه مدل پیشنهادی در مقایسه با سایر مدل‌های بررسی‌شده هستند.

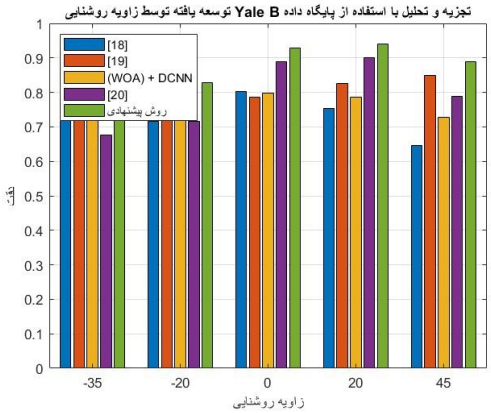


شکل۶. تجزیه و تحلیل با استفاده از پایگاه داده UMB-DB در مواجهه با انسدادهای مختلف

با بررسی داده‌های ارائه‌شده، روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها نشان می‌دهد و به‌ویژه در انسدادهای پیچیده مانند ماسک و کلاه دقت بیشتری دارد. روش پیشنهادی در تمامی موارد دارای روند صعودی است و با افزایش پیچیدگی انسداد، بهبود بیشتری در دقت حاصل می‌کند. این در حالی است که سایر روش‌ها در برخی موارد دارای افت یا ثبات در دقت هستند.

تجزیه و تحلیل با استفاده از پایگاه داده توسعه یافته Yale B

عملکرد مدل پیشنهادی بر روی پایگاه داده Extended Yale B در شرایط تغییرات نور و زاویه قرارگیری ارزیابی شده است. نمودارهای مربوط به شکل ۷ دقت (Accuracy) را برای روش پیشنهادی و روش‌های دیگر را در زوایای نور مختلف نشان می‌دهند.



شکل ۷. تجزیه و تحلیل با استفاده از پایگاه داده Yale B توسعه یافته توسط زاویه روشنایی.

داده‌های ارائه‌شده نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در تمامی زاویه‌های روشنایی عملکرد برتری دارد و بالاترین دقت‌ها را ثبت می‌کند. به‌طور خاص، در زاویه‌های ۰ و ۲۰ درجه، دقت این روش به ترتیب به ۰,۹۲۹۳ و ۰,۹۴۰۳ می‌رسد که بیشترین مقدار در میان تمامی روش‌ها است. روش پیشنهادی در تمامی زوایا نه‌تنها بالاترین دقت را دارد، بلکه تغییرات آن نیز نسبت به زاویه‌های مختلف روشنایی کمتر است، که نشان‌دهنده پایداری بیشتر این روش است. در مقابل، روش‌های دیگر تحت تأثیر تغییرات زاویه‌ای ناپایدار هستند و کاهش چشمگیری در دقت خود نشان می‌دهند. مقایسه‌ای از عملکرد مدل پیشنهادی با مدل های دیگر در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مقایسه‌ای از عملکرد مدل پیشنهادی با مدل های دیگر

پایگاه داده	معیارها		(WOA) + DCNN	[18]	[19]	[20]	روش پیشنهادی
مجموعه داده LFW	Accuracy	داده های آموزش	0.8332	0.8486	0.8494	0.8934	0.9231
	FAR		0.4303	0.4222	0.4324	0.239	0.200
	FRR		0.739	0.483	0.403	0.4943	0.302
	Accuracy	واریانس نویز	0.7804	0.7896	0.7637	0.8683	0.8812
	FAR		0.3667	0.4244	0.4208	0.2908	0.2205
	FRR		0.4836	0.4622	0.7403	0.4449	0.4056

روش پیشنهادی در معیار دقت داده‌های آموزشی با دستیابی به مقدار ۰,۹۲۳۱، عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها از خود نشان داده است، به‌طوری که نسبت به نزدیک‌ترین روش مقایسه‌ای [20]، بهبود ۳,۳۳ درصدی را ثبت کرده و در مقایسه با سایر روش‌ها نیز ارتقاء قابل‌توجهی را به نمایش می‌گذارد. همچنین، نرخ مثبت کاذب (FAR) برای این روش ۰,۲۰۰۰ گزارش شده است که کمترین میزان در میان مدل‌های مورد مقایسه است و بیانگر قدرت بالای مدل در کاهش تشخیص‌های نادرست مثبت می‌باشد. از سوی دیگر، نرخ منفی کاذب (FRR) نیز با مقدار ۰,۳۰۲۰ نسبت به مدل‌های [19] و [20] که به ترتیب مقادیر ۰,۴۰۳۰ و ۰,۴۹۴۳ را دارا هستند، بهبود قابل‌توجهی را نشان می‌دهد. در مواجهه با شرایط نویزی، روش پیشنهادی همچنان عملکرد برتری دارد؛ دقت آن برابر با ۰,۸۸۱۲ است که از مقدار دقت ۰,۸۶۸۳ روش [20] فراتر رفته و نسبت به سایر روش‌ها نیز بهتر است. در این وضعیت، نرخ FAR با مقدار ۰,۲۲۰۵ پایین‌ترین میزان را حفظ کرده که بیانگر پایداری الگوریتم در شرایط غیرایده‌آل است. نرخ FRR نیز در شرایط نویزی به ۰,۴۰۵۶ کاهش یافته که در مقایسه با مقدار ۰,۷۴۰۳ روش [19]، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای دارد. این نتایج تأکید می‌کنند که روش پیشنهادی با ارائه تعادلی مناسب میان دقت بالا و نرخ خطاهای پایین، نه‌تنها در محیط‌های آموزشی استاندارد بلکه در شرایط نویزی نیز عملکردی قابل‌اعتماد و برتر ارائه می‌دهد و گزینه‌ای مناسب برای کاربردهای واقعی و پیچیده تلقی می‌شود.

نتیجه‌گیری

فناوری تشخیص چهره با وجود پتانسیل‌های فراوان، با چالش‌هایی مانند تغییر وضعیت، انسداد، بیان چهره، شرایط نوری و نویز مواجه است؛ در این راستا، این مقاله روشی نوین شامل ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی [BRO-GOA] و شبکه عصبی کانولوشن عمیق همراه با سیستم فازی نوع II و الگوریتم [Battle Royale Optimization Algorithm] را برای بهبود عملکرد تشخیص چهره در شرایط نویزی ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از داده‌های آموزشی [LFW] نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی از دقت اولیه ۰,۹۱۶۵ در ۴۵٪ داده‌ها تا ۰,۹۷۴۳ در ۹۵٪ داده‌ها افزایش می‌یابد و در تمامی مراحل، عملکرد بهتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. همچنین، نرخ خطای اشتباه پذیرش (FAR) این مدل از ۰,۴۸ به ۰,۱۸ کاهش می‌یابد و نرخ خطای رد اشتباه (FRR) نیز با افزایش آرام‌تری از ۰,۱۷۵ به ۰,۷۲ می‌رسد. این مدل با دقت بالای ۹۰٪ در اکثر شرایط، به‌ویژه در زوایای روشنایی ۰ و ۲۰ درجه با دقت‌های ۰,۹۲۹۳ و ۰,۹۴۰۳، پایداری و برتری خود را اثبات کرده و به عنوان یک راه‌حل مؤثر و قابل‌اتکا در محیط‌های واقعی و چالش‌برانگیز مطرح می‌شود.

مراجع

[1] Yan, C.; Xie, H.; Chen, J.; Zha, Z.; Hao, X.; Zhang, Y.; Dai, Q. A fast Uyghur text detector for complex background images. IEEE Trans Multimed. 2018, 20, 3389–3398. [Google Scholar] [CrossRef]

[۲] Soni, N.; Sharma, E.K.; Singh, N.; Kapoor, A. Assistance System (AS) for Vehicles on Indian Roads: A Case Study. In International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications; Springer: Cham, Switzerland, 2018; pp. 512–517. [Google Scholar]

[۳] Chen, Z.; Huang, W.; Lv, Z. Towards a face recognition method based on uncorrelated discriminant sparse preserving projection. Multimed. Tools Appl. 2017, 76, 17669–17683. [Google Scholar] [CrossRef]

[۴] Prasad, P.S.; Pathak, R.; Gunjan, V.K.; Rao, H.R. Deep learning based representation for face recognition. In ICCCE; Springer: Singapore, 2019; pp. 419–424. [Google Scholar]
[۵] Gulli, A.; Kapoor, A.; Pal, S. Deep Learning with TensorFlow 2 and Keras: Regression, ConvNets, GANs, RNNs, NLP, and More with TensorFlow 2 and the Keras API; Packt Publishing Ltd.: Birmingham, UK, 2019.
[۶] Ali, M., Diwan, A., & Kumar, D. (2024). Attendance System Optimization through Deep Learning Face Recognition. International Journal of Computing and Digital Systems, 15(1), 1527-1540.
[۷] Khan, S. S., Sengupta, D., Ghosh, A., & Chaudhuri, A. (2024). MTCNN++: A CNN-based face detection algorithm inspired by MTCNN. The Visual Computer, 40(2), 899-917.
[۸] Rostami, M., Farajollahi, A., & Parvin, H. (2024). Deep learning-based face detection and recognition on drones. Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, 15(1), 373-387.
[۹] Thakare, P., & V, R. S. (2024). Advanced pest detection strategy using hybrid optimization tuned deep convolutional neural network. Journal of Engineering, Design and Technology, 22(3), 645-678.
[۱۰] Alshakree, F., Akbas, A., & Rahebi, J. (2024). Human identification using palm print images based on deep learning methods and gray wolf optimization algorithm. Signal, Image and Video Processing, 18(1), 961-973.
[۱۱] Hossain, S., Umer, S., Rout, R. K., & Tanveer, M. (2023). Fine-grained image analysis for facial expression recognition using deep convolutional neural networks with bilinear pooling. Applied Soft Computing, 134, 109997.
[۱۲] Naseri, R. A. S., Kurnaz, A., & Farhan, H. M. (2023). Optimized face detector-based intelligent face mask detection model in IoT using deep learning approach. Applied Soft Computing, 134, 109933.
[۱۳] Kumar, S.V.; Nagaraju, C. T2FCS filter: Type 2 fuzzy and cuckoo search-based filter design for image restoration. J. Vis. Commun. Image Represent. 2019, 58, 619–641. [Google Scholar] [CrossRef]
[۱۴] Peng, B.; Wang, W.; Dong, J.; Tan, T. Automatic detection of 3d lighting inconsistencies via a facial landmark based morphable model. In Proceedings of the IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Phoenix, AZ, USA, 25–28 September 2016; pp. 3932–3936. [Google Scholar]
[۱۵] Labeled Faces in the Wild Home Database. Available online: http://vis-www.cs.umass.edu/lfw/download (accessed on 25 July 2020).

[۱۶] The University of Milano Bicocca 3D Face Database. Available online: http://www.ivl.disco.unimib.it/minisites/umbdb/request.html (accessed on 23 July 2020).
[۱۷] Extended Yale B Database. Available online: http://vision.ucsd.edu/~leekc/ExtYaleDatabase/ExtYaleB.html (accessed on 29 July 2020).
[۱۸] He, M.; Zhang, J.; Shan, S.; Kan, M.; Chen, X. Deformable face net for pose invariant face recognition. Pattern Recognit. 2020, 100, 107113. [Google Scholar] [CrossRef]
[۱۹] Yang, W.; Zhang, X.; Li, J. A local multiple patterns feature descriptor for face recognition. Neurocomputing 2020, 373, 109–122. [Google Scholar] [CrossRef]
[۲۰] Soni, N., Sharma, E. K., & Kapoor, A. (2021). Novel BSSSO-based deep convolutional neural network for face recognition with multiple disturbing environments. Electronics, 10(5), 626.

KNO-1201-4705

نقش هوش مصنوعی برای کشف نفوذ در سیستم های امنیتی

شهاب ترکی shahab.torki1383@gmail.com

دانشجوی مهندسی کامپیوتر دانشگاه ملی مهارت شهرکرد

احسان سلیمانی ehsan.soeimani@maybodiau.ac.ir

دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر دانشکده مهندسی دانشگاه ازاداسلامی واحد میبد

چکیده

نقش هوش مصنوعی در امنیت سایبری و شناسایی تهدیدات مانند حملات نفوذ، بدافزارها و فیشینگ بررسی شده است. این فناوری با تحلیل رفتارهای غیرعادی، ترافیک شبکه و تشخیص الگوهای مشکوک، به صورت خودکار به مسدودسازی حملات و تقویت حفاظت کمک می‌کند. نمونه‌های کاربردی شامل سیستم‌های تشخیص نفوذ، تحلیل تراکنش‌های بانکی و شناسایی محتوای فریبنده است. در نهایت، هوش مصنوعی نقش مهمی در افزایش امنیت فضای ابری و پاسخ سریع به تهدیدات دارد و آینده امنیت سایبری با توسعه این فناوری قابل تصور است.

کلید واژه: هوش مصنوعی ، امنیت سایبری، شناسایی نفوذ، سیستم‌های امنیتی تحلیل رفتار کاربر، شناسایی بدافزا

مقدمه

در عصر حاضر، امنیت سایبری به عنوان یک چالش اساسی مطرح میگردد، چرا که حجم و تنوع حملات سایبری به طور چشمگیری افزایش یافته و تهدیدات نوظهوری در این حوزه پدیدار گشتهاند. با توجه به پیشرفتهای شگرف در عرصه فناوری و پیچیدگی روزافزون حملات، روشهای سنتی امنیتی به تنهایی قادر به مقابله مؤثر با تهدیدات مذکور نیستند. در این راستا، هوش مصنوعی (Artificial Intelligence)به عنوان یک فناوری پیشرفته، نقش بسزایی در شناسایی و پیشگیری از نفوذ به سیستمهای امنیتی ایفا مینماید.

هوش مصنوعی با بهره گیری از الگوریتمهای یادگیری ماشین، تحلیل ناهنجاریها و پردازش دادههای کلان، قادر است تهدیدات سایبری را در زمان واقعی تشخیص داده و اقدامات مقتضی را جهت حفاظت از سیستم های حیاتی به انجام رساند. این فناوری نه تنها سرعت و دقت در شناسایی تهدیدات را افزایش میدهد، بلکه سازمانها را قادر میسازد تا به صورت پیشگیرانه از وقوع حملات سایبری جلوگیری نمایند.

مقاله حاضر به بررسی نقش هوش مصنوعی در کشف نفوذ به سیستمهای امنیتی میپردازد و روشهایی که این فناوری در راستای مقابله با تهدیدات سایبری ارائه میدهد را مورد تجزیه و تحلیل قرار میدهد. همچنین، نمونه هایی از کاربردهای موفق هوش مصنوعی در تشخیص حملات، شناسایی بدافزارها، پیشگیری از حملات فیشینگ و ارتقاء امنیت فضای ابری ارائه میگردد تا تصویری روشن از قابلیتهای این فناوری در حوزه امنیت سایبری ترسیم شود.

هوش مصنوعی برای کشف نفوذ در سیستمهای امنیتی:

هوش مصنوعی نقش محوری در بهبود امنیت سایبری ایفا میکند و میتواند در کشف نفوذ به سیستمهای امنیتی بسیار مؤثر واقع شود. در این مقاله، امکان بحث پیرامون روشهای استفاده از هوش مصنوعی برای تشخیص تهدیدات امنیتی، الگوریتمهای یادگیری ماشین به منظور تحلیل رفتارهای مشکوک و تکنیکهای پیشرفتهای نظیر شبکههای عصبی و یادگیری عمیق فراهم است.

هوش مصنوعی چگونه میتواند در پیشگیری از حملات سایبری مؤثر باشد؟

هوش مصنوعی میتواند نقش قابل توجهی در پیشگیری از حملات سایبری ایفا نماید، چرا که از توانایی تحلیل حجم عظیمی از داده ها و تشخیص الگوهای مشکوک برخوردار است. برخی از روشهای بهره گیری از هوش مصنوعی در حوزه امنیت سایبری به شرح ذیل است:

- **شناسایی تهدیدات در زمان واقعی:** الگوریتمهای یادگیری ماشین قادرند به صورت مستمر فعالیتهای شبکه را تحلیل نموده و رفتارهای غیرعادی را شناسایی نمایند.
- **تشخیص ناهنجاریها:** مدلهای هوش مصنوعی با بررسی داده های تاریخی، قادر به شناسایی فعالیتهای مشکوک پیش از وقوع حمله میباشند.
- **پیشبینی حملات:** با استفاده از تحلیل الگوهای پیشین حملات، هوش مصنوعی میتواند نوع حملهای که احتمال وقوع آن وجود دارد را پیشبینی نموده و اقدامات پیشگیرانه را توصیه نماید.
- **خودکارسازی پاسخ به تهدیدات:** سیستمهای هوشمند میتوانند به صورت خودکار حملات را مسدود نموده و اقدامات لازم را جهت کاهش خسارات وارده به انجام رسانند.
- **شناسایی بدافزارهای جدید:** مدلهای یادگیری عمیق قادر به شناسایی انواع جدیدی از بدافزارها هستند که ممکن است هنوز در پایگاههای داده امنیتی ثبت نشده باشند.



شکل1:حمله سایبری

هوش مصنوعی چگونه تهدیدات را در زمان واقعی شناسایی میکند؟

هوش مصنوعی میتواند تهدیدات سایبری را به صورت لحظه ای شناسایی نماید، چرا که قادر به تحلیل سریع دادهها و تشخیص الگوهای غیرعادی است. برخی از تکنیکهایی که هوش مصنوعی در این راستا به کار میگیرد عبارتند از:

- **تحلیل رفتار کاربران و سیستمها:** الگوریتمهای یادگیری ماشین میتوانند الگوهای معمول عملکرد کاربران را فرا گرفته و هرگونه رفتار غیرعادی را شناسایی نمایند.
- **سیستمهای تشخیص ناهنجاری:** مدلهای هوش مصنوعی داده های شبکه را تحلیل نموده و هرگونه فعالیت مشکوکی که از الگوهای معمول خارج باشد را شناسایی مینمایند.
- **تحلیل ترافیک شبکه:** با استفاده از پردازش بیدرنگ دادههای شبکه، سیستمهای مبتنی بر هوش مصنوعی قادر به تشخیص سریع فعالیتهای مشکوک و ارائه هشدار میباشند.
- **شناسایی تهدیدات مبتنی بر امضا و الگو:** برخی از سیستمها از پایگاههای داده تهدیدات شناختهشده استفاده میکنند، اما مدلهای پیشرفته هوش مصنوعی میتوانند تهدیدات جدید را بدون نیاز به پایگاه داده کشف نمایند.
- **همکاری با سیستمهای امنیتی دیگر:** هوش مصنوعی میتواند داده ها را از منابع مختلف جمع آوری و پردازش نماید تا دید کاملی از وضعیت امنیتی ایجاد نماید.

مثالی از شناسایی تهدید با هوش مصنوعی:

یکی از نمونه های موفق شناسایی تهدیدات سایبری با استفاده از هوش مصنوعی، سیستمهای تشخیص نفوذ(IDS) است که در سازمانهای مختلف به منظور محافظت از شبکهها به کار گرفته میشوند.

مثال: تصور نمایید که یک بانک دارای یک سیستم امنیتی هوش مصنوعی است که به طور مداوم فعالیتهای شبکه را رصد میکند. این سیستم از الگوریتمهای یادگیری ماشین استفاده میکند تا الگوهای عادی تراکنشهای مالی و ارتباطات درون شبکهای را شناسایی نماید. در یک روز مشخص، هوش مصنوعی متوجه میشود که حجم قابل توجهی از دادهها به طور ناگهانی از یک سرور خاص به مقصدی نامشخص ارسال میگردد—این رفتاری غیرمعمول تلقی میگردد.

با بررسی دقیقتر، سیستم متوجه میشود که این رفتار مشابه یک حمله استخراج داده(Data Exfiltration Attack)است که در آن مهاجمان در تلاش برای استخراج اطلاعات محرمانه کاربران هستند. در نتیجه، هوش مصنوعی به تیم امنیتی هشدار میدهد، انتقال دادهها را متوقف میکند و آدرسهای مشکوک را به لیست سیاه اضافه میکند تا از وقوع حمله جلوگیری به عمل آید.

نتیجه: در غیاب این سیستم هوش مصنوعی، احتمال سرقت اطلاعات حساس بانکی و بروز خسارتهای سنگین وجود داشت. اما به دلیل تشخیص سریع تهدید و انجام اقدامات فوری، امنیت اطلاعات حفظ گردید.

نمونه های بیشتر از کاربرد هوش مصنوعی در امنیت سایبری

در ذیل، نمونههای دیگری از کاربردهای هوش مصنوعی در امنیت سایبری ارائه شده است:

- **شناسایی و پیشگیری از حملات فیشینگ:** هوش مصنوعی میتواند هزاران ایمیل را به صورت آنی تحلیل نماید تا تلاشهای فیشینگ را شناسایی کند. با بررسی الگوها، زبان و رفتار فرستنده، فیلترهای ایمیل مبتنی بر هوش مصنوعی قادر به مسدود نمودن ایمیلهای مخرب پیش از رسیدن به کاربران میباشند.
- **شکار خودکار تهدیدات:** سیستم های امنیتی هوش مصنوعی به طور مداوم شبکه ها را اسکن میکنند تا رفتارهای غیرعادی را شناسایی نموده و تهدیدات مخفی را پیش از آنکه مهاجمان از آسیب پذیری ها سوءاستفاده نمایند، آشکار سازند.
- **تحلیل و شناسایی بدافزارها:** نرم افزارهای آنتی ویروس سنتی معمولاً برای شناسایی بدافزارها به امضاهای شناخته شده متکی هستند، اما هوش مصنوعی میتواند با تحلیل رفتار بدافزار، حتی نسخههای جدید آن را شناسایی نماید، که برای مقابله با تهدیدات روز صفر بسیار مؤثر است.

- **تشخیص تقلب در سیستمهای مالی:** بانکها و مؤسسات مالی از هوش مصنوعی برای نظارت بر تراکنش ها و شناسایی فعالیت های مشکوک استفاده مینمایند. در صورت شناسایی رفتار غیرعادی توسط هوش مصنوعی، نظیر برداشت های ناگهانی با مبالغ بالا یا انتقال به مکانهای نامتعارف، هشدارهای امنیتی فعال شده و یا تراکنش مسدود میگردد.
- **مدیریت هویت و دسترسی) (IAM)**:هوش مصنوعی امنیت احراز هویت را با تحلیل الگوهای ورود و شناسایی ناهنجاری ها بهبود میبخشد، تا اطمینان حاصل شود که تنها کاربران مجاز به سیستم های حساس دسترسی دارند.
- **اتوماسیون امنیتی:** هوش مصنوعی قادر به انجام پاسخهای خودکار به تهدیدات، نظیر جداسازی دستگاههای آلوده، مسدود نمودن آدرسهای IP مخرب یا اصلاح آسیبپذیریها بدون نیاز به دخالت انسانی میباشد.
- **تشخیص دیپفیک:** با پیشرفت فناوری دیپفیک، هوش مصنوعی برای شناسایی تصاویر، ویدئوها و فایلهای صوتی جعلی که میتوانند برای تقلب یا انتشار اطلاعات نادرست مورد استفاده قرار گیرند، به کار گرفته میشود.
- **افزایش امنیت فضای ابری:** هوش مصنوعی به صورت مداوم محیط های ابری را برای شناسایی آسیب پذیری ها، تلاشهای دسترسی غیرمجاز و ضعف های پیکربندی اسکن میکند تا امنیت زیرساختهای مبتنی بر فضای ابری حفظ شود.



شکل2:امنیت سایبری

هوش مصنوعی چگونه تلاشهای فیشینگ را شناسایی میکند؟

هوش مصنوعی از تکنیک های پیشرفت های برای تحلیل ایمیل ها، وبسایت ها و رفتار کاربران به منظور کشف تلاشهای فیشینگ استفاده میکند. این روشها شامل موارد ذیل هستند:

۱.پردازش زبان طبیعی: هوش مصنوعی محتوای ایمیل ها را بررسی میکند تا کلمات مشکوک، اشتباهات گرامری، درخواست های فوری یا لینکهای فریبنده که شبیه الگوهای شناخته شده فیشینگ هستند را شناسایی نماید.

۲.تحلیل رفتاری: هوش مصنوعی رفتار کاربران را در طول زمان مطالعه میکند و هرگونه فعالیت غیرعادی نظیر ورود از مکان های ناشناخته یا کلیک بر روی لینکهای نامتعارف را تشخیص میدهد.

۳.بررسی لینکها و دامنه ها: هوش مصنوعی لینک های وب موجود در ایمیل ها را با پایگاه داده سایتهای فیشینگ مقایسه نموده و بررسی میکند که آیا شباهتی به دامنههای معتبر دارند یا خیر.

۴.تشخیص تصویر: ایمیلهای فیشینگ اغلب دارای لوگوها و برندهای جعلی هستند. هوش مصنوعی قادر به تحلیل تصاویر به منظور تشخیص تغییرات اعمال شده و یا استفاده نادرست از آنها میباشد.

۵.تحلیل متاداده ایمیل: هوش مصنوعی اطلاعات مربوط به هدر ایمیل، آدرس فرستنده و مسیر ارسال را بررسی میکند تا ایمیلهای جعلی را شناسایی نماید.

۶.یادگیری ماشین برای شناسایی الگوها: هوش مصنوعی با تجزیه و تحلیل حملات فیشینگ پیشین، به طور مداوم یاد میگیرد تا توانایی شناسایی تهدیدات جدید را بهبود بخشد.

۷.هشدار به کاربران و دفاع خودکار: سیستم های امنیتی مبتنی بر هوش مصنوعی میتوانند پیش از کلیک کاربران بر روی لینکهای مشکوک، هشدار دهند یا حتی ایمیلهای جعلی را به طور کامل مسدود نمایند.

سیستم امنیتی چیست؟

سیستم امنیتی مجموعه ای از ابزارها، فناوری ها و فرآیندهایی است که برای محافظت از داده ها، شبکه ها، دستگاه ها و زیر ساخت های دیجیتال در برابر تهدیدات سایبری، دسترسیهای غیرمجاز و حملات طراحی شده است .این سیستم ها در محیط های مختلف نظیر سازمان ها، بانک ها، مراکز دولتی و حتی خانه های هوشمند مورد استفاده قرار میگیرند.

اجزای اصلی یک سیستم امنیتی:

- احراز هویت و کنترل دسترسی: تأیید هویت کاربران و تعیین سطح دسترسی آنها به داده ها.
- رمزگذاری دادهها: تبدیل اطلاعات به فرم های غیرقابل خواندن به منظور جلوگیری از سرقت داده ها.
- سیستمهای تشخیص نفوذ شناسایی و جلوگیری از حملات سایبری.
- دیوارهای آتش فیلتر نمودن ترافیک شبکه و جلوگیری از ورود تهدیدات خارجی.
- هوش مصنوعی و یادگیری ماشین: تحلیل رفتارهای مشکوک و شناسایی تهدیدات سایبری در زمان واقعی.
- پایش و نظارت امنیتی: رصد دائمی فعالیتهای شبکه به منظور کشف هرگونه ناهنجاری.
- مدیریت ریسک و پاسخ به تهدیدات: برنامه ریزی برای مقابله با حملات و کاهش آسیب های احتمالی.

سیستم های امنیتی دیجیتال به طور مداوم در حال پیشرفت هستند تا بتوانند با تهدیدات نوظهور مقابله نمایند.

نتیجه گیری

هوش مصنوعی به عنوان یک فناوری پیشرفته، نقش مهمی در افزایش امنیت سایبری و کشف نفوذ به سیستمهای امنیتی ایفا مینماید. این فناوری با بهرهگیری از الگوریتمهای یادگیری ماشین، تحلیل ناهنجاریها، پردازش بیدرنگ دادهها و همکاری با سیستمهای امنیتی دیگر، قادر به شناسایی تهدیدات سایبری در زمان واقعی و انجام اقدامات پیشگیرانه میباشد.

کاربردهای هوش مصنوعی در شناسایی تهدیدات فیشینگ، تحلیل رفتارهای غیرعادی، شناسایی بدافزارهای جدید، خودکار سازی پاسخ به حملات و افزایش امنیت فضای ابری نشاندهنده توانایی بالای این فناوری در کاهش خطرات سایبری است. همچنین ،ترکیب هوش مصنوعی با سایر تکنیک های امنیتی نظیر رمزگذاری داده ها، احراز هویت چندمرحله ای و مدیریت ریسک میتواند لایه محافظتی قدرتمندی در برابر حملات سایبری ایجاد نماید.

با توجه به پیشرفت روزافزون تهدیدات سایبری، بهره گیری از هوش مصنوعی در حوزه امنیت دیجیتال نه تنها یک ضرورت، بلکه یک انتخاب استراتژیک محسوب میگردد. سازمانها باید سرمایه گذاری در سیستم های امنیتی هوش مصنوعی را افزایش داده، مدلهای امنیتی را به روزرسانی نموده و به توسعه فناوریهای پیشرفته برای مقابله با تهدیدات نوظهور بپردازند.

در آینده، نقش هوش مصنوعی در امنیت سایبری بیش از پیش گسترش خواهد یافت و این فناوری میتواند با شناسایی سریعتر تهدیدات، پیشبینی حملات و خودکارسازی دفاع سایبری، امنیت دیجیتال را به سطحی بالاتر ارتقا دهد.

مراجع

[1] Determining the effective factors on evaluation the cyber defense power of the Army of the Islamic Republic of Iran Mohammad Ghasemi 1 Davod Azar 2 Vahid Sajadi 115-140.

[2] The pattern of threats of new technologies of the Islamic Republic of Iran Army's ground forces vahid Riazi 1 Esmaeil Biabany 2 .. 58-77.

[3]طراحی الگوی مفهومی توسعه اکوسیستم کسب و کارهای دیجیتالی مبتنی بر مطالعات علم سنجی .133-155 :(68)فصلنامه انجمن علوم مدیریت ایران 17

[4] بررسی کاربرد هوش مصنوعی در آموزش و توسعه منابع انسانی حمید قربانی جمشید عطایی فر

[5] بررسی آثار سیاست‌های توسعهٔ فناوری‌های نوین و هوش مصنوعی در گسترش راهبردهای سیاسی کلان با رویکرد سیاست‌های کلی نظام شریف زاده ز هرا ,میرکوشش امیرهوشنگ ,حسینی محمد مهدی: 24-47

KNO-1201-4706

تحلیل جامع تلفات در شبکه توزیع برق و راهکارهای کاهش آن

یوسف جعفرنژاد Uosefja@yahoo.com
کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر
علیرضا عباسی alliireza@yahoo.com
کارشناسی ارشد مهندسی برق قدرت ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

چکیده:

شبکه‌های توزیع برق نقش حیاتی در انتقال انرژی الکتریکی از پست‌های فوق توزیع به مصرف‌کنندگان نهایی ایفا می‌کنند. در این مسیر، بخشی از انرژی به دلایل فنی و غیر فنی تلف می‌شود که این تلفات نه‌تنها موجب کاهش راندمان سیستم، بلکه باعث افزایش هزینه‌های تولید و توزیع نیز می‌گردد. تلفات شبکه توزیع برق یکی از چالش‌های اساسی در صنعت برق به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه به‌شمار می‌آید، جایی که نرخ تلفات ممکن است تا بیش از ۲۰ درصد نیز برسد.
در این مقاله، ابتدا به دسته‌بندی و تحلیل انواع تلفات موجود در شبکه توزیع شامل تلفات فنی و غیر فنی پرداخته می‌شود. سپس عوامل مؤثر بر بروز این تلفات از جنبه‌های فنی، مدیریتی و جغرافیایی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه، روش‌های مختلف اندازه‌گیری و تحلیل این تلفات با بهره‌گیری از فناوری‌های مدرن نظیر سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند، شبیه‌سازی نرم‌افزاری و الگوریتم‌های هوش مصنوعی معرفی می‌شوند. بخش عمده‌ای از مقاله به بررسی راهکارهای کاهش تلفات اختصاص دارد که شامل اصلاحات در ساختار شبکه، به‌کارگیری تجهیزات با کیفیت بالا، مدیریت مصرف و مبارزه با سرقت برق است.
کلمات کلیدی: تلفات شبکه توزیع،تلفات فنی،تلفات غیرفنی،کاهش تلفات،برق دزدی،تحلیل فلو جریان،سیستم اندازه گیری هوشمند (***AMI***)، الگوریتم‌های هوش مصنوعی، بهینه‌سازی شبکه توزیع،مدیریت بار،بانک خازنی،جایابی بهینه ترانسفورماتور

مقدمه

در دنیای امروز، برق به‌عنوان زیرساختی حیاتی برای توسعه اقتصادی، اجتماعی و صنعتی شناخته می‌شود. از میان اجزای مختلف سیستم قدرت، شبکه توزیع برق حلقه پایانی زنجیره انتقال انرژی الکتریکی به مصرف‌کننده نهایی است و به‌طور مستقیم با کیفیت خدمات و رضایت مشترکین ارتباط دارد. یکی از چالش‌های مهم در این بخش، مسئله تلفات انرژی است که تأثیر مستقیمی بر عملکرد فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی شبکه دارد.

تلفات انرژی در شبکه توزیع، به مقدار برقی اطلاق می‌شود که در طول انتقال از پست‌های فوق توزیع تا محل مصرف، به دلایل مختلف از بین می‌رود. این تلفات به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: تلفات فنی که ناشی از خواص ذاتی تجهیزات و ساختار فیزیکی شبکه است، و تلفات غیر فنی که عمدتاً به عوامل مدیریتی، اجتماعی و حتی حقوقی باز می‌گردند؛ نظیر سرقت برق یا خطاهای اندازه‌گیری. در برخی کشورها، میزان این تلفات به حدود ۵ تا ۱۰ درصد از کل انرژی توزیع‌شده می‌رسد، در حالی‌که در برخی مناطق، این رقم می‌تواند از ۲۰ درصد نیز فراتر رود؛ که این خود، بار مالی سنگینی را بر دوش شرکت‌های توزیع و در نهایت، مصرف‌کنندگان می‌گذارد. اهمیت موضوع زمانی بیشتر نمایان می‌شود که بدانیم کاهش هر یک درصد از تلفات، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی چند میلیون دلاری در هزینه‌های تولید و توزیع برق شود. همچنین کاهش تلفات باعث بهبود پایداری شبکه، کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید مازاد و بهبود شاخص‌های بهره‌وری در سطح ملی می‌گردد.

با توجه به نقش محوری شبکه توزیع در نظام انرژی کشور و محدودیت منابع تولید، کاهش تلفات شبکه توزیع به یکی از اولویت‌های اصلی صنعت برق تبدیل شده است. این مقاله بر آن است تا با بررسی ابعاد مختلف این موضوع و ارائه راهکارهای علمی و عملی، گامی در جهت افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های شبکه توزیع بردارد.

بخش اول: انواع تلفات در شبکه توزیع برق

تلفات در شبکه توزیع برق به‌صورت کلی به دو دسته اصلی **تلفات فنی (Technical Losses)** و **تلفات غیر فنی-(Non-Technical Losses)** تقسیم می‌شود. شناخت دقیق این دو نوع تلفات، پیش‌نیاز طراحی راهکارهای مؤثر برای کاهش آن‌هاست. در ادامه به تشریح هر یک از این دو دسته و مؤلفه‌های مرتبط با آن‌ها پرداخته می‌شود:

۱ .تلفات فنی(Technical Losses)

تلفات فنی در اثر فرآیندهای فیزیکی ذاتی عبور جریان از تجهیزات الکتریکی ایجاد می‌شوند و اجتناب‌ناپذیرند، اما می‌توان آن‌ها را با بهینه‌سازی طراحی شبکه و انتخاب مناسب تجهیزات، تا حد قابل توجهی کاهش داد. مهم‌ترین مؤلفه‌های تلفات فنی عبارت‌اند از:

۱-۱ .تلفات در خطوط انتقال و توزیع

هنگامی که جریان الکتریکی از هادی‌ها عبور می‌کند، مقاومت موجود در آن‌ها باعث ایجاد افت توان به صورت گرما می‌شود. این نوع تلفات با فرمول $Ploss=I2RP_{loss} = I^2RPloss=I2R$ بیان می‌شود که نشان‌دهنده رابطه مستقیم تلفات با مربع جریان و مقاومت خط است.

۱-۲ .افت ولتاژ و تنظیم ضعیف

در شبکه‌های توزیع، کاهش ولتاژ در طول خطوط منجر به کاهش کیفیت ولتاژ برای مشترکین و تلفات بیشتر توان می‌شود. افت ولتاژ در مناطق دور از پست و بارهای سنگین محسوس‌تر است.

۱-۳ .تلفات در ترانسفورماتورها

ترانسفورماتورها دارای دو نوع تلفات هستند: تلفات آهن (ناشی از پسماند مغناطیسی در هسته) و تلفات مس (به علت جریان عبوری از سیم‌پیچ‌ها). بهینه‌سازی طراحی و استفاده از ترانسفورماتورهای کم‌تلفات، به کاهش این نوع تلفات کمک می‌کند.

۱-۴ .تلفات ناشی از جریان نشتی

در سیستم‌های زمینی یا در محیط‌های مرطوب، ممکن است بخشی از جریان از طریق عایق‌های معیوب یا خاک به زمین نشت کند که منجر به تلفات می‌گردد. این مسئله در کابل‌های زیرزمینی یا شبکه‌های فرسوده بیشتر مشاهده می‌شود.

۱-۵ .تلفات ناشی از بار نامتعادل

در شبکه‌هایی که بارگذاری فازها نامتعادل است، نه تنها سبب افزایش جریان در هادی نول می‌شود، بلکه باعث افزایش تلفات گرمایی در شبکه نیز خواهد شد.

۲ .تلفات غیر فنی(Non-Technical Losses)

تلفات غیر فنی ناشی از عوامل انسانی، مدیریتی و اجتماعی هستند و برخلاف تلفات فنی، اجتناب‌پذیرند. کنترل و کاهش این تلفات مستلزم نظارت، فناوری مناسب و همکاری نهادهای قانونی است. مهم‌ترین انواع این تلفات عبارت‌اند از:

۲-۱ .دزدی برق (برق‌دزدی)

در برخی مناطق، افراد با ایجاد انشعاب‌های غیرمجاز یا دست‌کاری کنتورها، بدون پرداخت هزینه از برق استفاده می‌کنند. این مسئله از عمده‌ترین دلایل افزایش تلفات غیر فنی در کشورهای در حال توسعه است.

۲-۲ .خطای اندازه‌گیری

استفاده از کنتورهای قدیمی، خراب یا عدم کالیبراسیون منظم، می‌تواند منجر به قرائت نادرست مصرف و در نتیجه ایجاد تلفات غیر فنی شود.

۲-۳ .مشکلات حسابداری و خطای انسانی

خطا در قرائت دستی کنتورها، اشتباهات نرم‌افزاری یا ثبت اشتباه اطلاعات در سیستم‌های حسابداری می‌تواند باعث مغایرت بین انرژی تولیدی و فروخته‌شده شود.

۲-۴ .عدم تطابق مصرف واقعی با تعرفه محاسباتی

در برخی موارد، مصرف‌کنندگان صنعتی یا تجاری با معرفی خود به‌عنوان مشترکین خانگی یا کشاورزی، هزینه کمتری برای مصرف واقعی می‌پردازند. این امر منجر به تفاوت بین مصرف واقعی و درآمد واقعی شرکت توزیع می‌شود.

۲-۵ .تأخیر در بروزرسانی اطلاعات مشترکین

عدم بروزرسانی مشخصات مشترکین (تغییر مکان، ظرفیت، نوع مصرف) باعث ناکارآمدی در محاسبه مصرف و برنامه‌ریزی بار می‌شود که در نهایت به شکل تلفات غیر مستقیم خود را نشان می‌دهد.

جمع‌بندی

تقسیم‌بندی تلفات به دو نوع فنی و غیر فنی، زمینه‌ساز شناخت بهتر نقاط ضعف شبکه و برنامه‌ریزی برای اصلاح آن‌هاست. در حالی‌که تلفات فنی بیشتر به طراحی و تجهیزات وابسته‌اند و کاهش آن‌ها نیازمند سرمایه‌گذاری فنی است، تلفات غیر فنی بیشتر با جنبه‌های نظارتی، حقوقی و اجتماعی در ارتباط بوده و می‌توان با ابزارهایی چون کنتورهای هوشمند و بازرسی‌های دقیق، آن‌ها را مهار کرد.

بخش دوم: عوامل مؤثر بر تلفات در شبکه توزیع برق

کاهش تلفات انرژی در شبکه توزیع، مستلزم درک دقیق از عواملی است که بر میزان این تلفات تأثیرگذارند. این عوامل ممکن است ریشه در طراحی فنی شبکه، ویژگی‌های جغرافیایی و محیطی، یا حتی ساختارهای مدیریتی و اجتماعی داشته باشند. در این بخش، مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تلفات شبکه به تفصیل بررسی می‌شوند:

۱ .طول و مقطع خطوط توزیع

یکی از مؤثرترین پارامترها بر تلفات فنی، طول و سطح مقطع خطوط توزیع است. با افزایش طول خطوط، مقاومت افزایش یافته و به تبع آن تلفات نیز بیشتر می‌شود. همچنین اگر سطح مقطع هادی‌ها کم باشد، جریان عبوری باعث افزایش تلفات گرمایی خواهد شد. در مناطق روستایی که مصرف پراکنده است، معمولاً شبکه شعاعی با خطوط طولانی باعث افزایش تلفات می‌شود.

راهکار پیشنهادی :استفاده از طراحی بهینه مسیرها، انتخاب سطح مقطع مناسب و حتی جایگزینی خطوط هوایی با کابل‌های زمینی با مقاومت کمتر.

۲ .کیفیت تجهیزات و فرسودگی زیرساخت‌ها

تجهیزات قدیمی، فرسوده یا غیر استاندارد مانند ترانسفورماتورهای قدیمی، کلیدهای معیوب و کابل‌های با عایق تخریب‌شده، می‌توانند منجر به افزایش تلفات شوند. کیفیت پایین مواد به‌کاررفته در تجهیزات نیز موجب افزایش مقاومت داخلی و کاهش راندمان خواهد شد.

راهکار پیشنهادی :نوسازی شبکه، ارتقاء تجهیزات با نمونه‌های با راندمان بالا، و انجام تعمیرات پیشگیرانه دوره‌ای.

۳ .بارگذاری نامتعادل

در شبکه‌های سه‌فاز، نامتعادلی بارها منجر به افزایش جریان در هادی نول و بروز تلفات اضافی می‌شود. این مسئله در شبکه‌های با مصرف‌کنندگان خانگی و غیر صنعتی بیشتر مشاهده می‌شود.

راهکار پیشنهادی :مدیریت مصرف، توزیع یکنواخت بار میان فازها و استفاده از سیستم‌های پایش بلادرنگ برای شناسایی نامتعادلی‌ها.

۴ .محل نصب ترانسفورماتورها

موقعیت فیزیکی ترانسفورماتورها نسبت به بار مصرف تأثیر زیادی بر تلفات دارد. فاصله زیاد میان بار و ترانس، منجر به افزایش طول فیدر و در نتیجه افزایش تلفات خط می‌شود.

راهکار پیشنهادی :جایابی بهینه ترانسفورماتورها با استفاده از مدل‌های ریاضی و نرم‌افزارهای شبیه‌سازی.

۵ .الگوی مصرف و تغییرات بار

شبکه توزیع باید برای بارهای اوج طراحی شود، اما نوسانات زیاد در الگوی مصرف، به‌ویژه در ساعات پیک، منجر به افزایش جریان و در نتیجه تلفات بیشتر می‌شود. تغییرات شدید فصلی نیز یکی از عوامل تأثیرگذار است.

راهکار پیشنهادی :پیاده‌سازی برنامه‌های پاسخ‌گویی بار، مدیریت پیک بار و ترویج مصرف بهینه انرژی در میان مشترکین.

۶ .دمای محیط و شرایط اقلیمی

افزایش دما موجب افزایش مقاومت الکتریکی هادی‌ها و کاهش راندمان ترانسفورماتورها می‌شود. همچنین در مناطق مرطوب، احتمال نشتی جریان بیشتر است. در مناطق کوهستانی، مشکلات ناشی از یخبندان و بادهای شدید نیز بر تجهیزات اثر می‌گذارند.

راهکار پیشنهادی :انتخاب تجهیزات متناسب با شرایط اقلیمی، استفاده از عایق‌های مقاوم در برابر رطوبت و گرما.

۷ .ساختار و توپولوژی شبکه توزیع

شبکه‌های شعاعی، حلقوی یا مختلط، هر یک ویژگی‌هایی دارند که بر میزان تلفات اثر می‌گذارند. شبکه‌های حلقوی امکان تغذیه چند مسیر را دارند و از لحاظ اطمینان بهتر هستند، ولی در برخی شرایط ممکن است تلفات بیشتری نسبت به ساختارهای شعاعی داشته باشند.

راهکار پیشنهادی :بهینه‌سازی ساختار شبکه بر اساس الگوی مصرف و خصوصیات جغرافیایی منطقه.

۸ .عدم استفاده از تجهیزات اصلاح ضریب توان

در صورتی که بارهای راکتیو زیادی در شبکه وجود داشته باشد، جریان کل شبکه افزایش یافته و تلفات به‌شدت بالا می‌رود. نبود خازن‌های مناسب یا مکان‌یابی غلط آن‌ها موجب افزایش توان راکتیو می‌شود.

راهکار پیشنهادی :استفاده از بانک‌های خازنی در نقاط استراتژیک و کنترل هوشمند ضریب توان.

۹ .زیرساخت‌های مخابراتی و فناوری اطلاعات

نبود سیستم‌های مانیتورینگ بلادرنگ، تجهیزات SCADA یا کنتورهای هوشمند، باعث می‌شود شرکت‌های توزیع توانایی تشخیص سریع اختلالات و تلفات غیرعادی را نداشته باشند.

راهکار پیشنهادی :توسعه سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند(AMI) ، اتوماسیون شبکه و به‌کارگیری کلان‌داده‌ها و تحلیل پیش‌بین.

جمع‌بندی

تلفات شبکه توزیع حاصل برهم‌کنش مجموعه‌ای از عوامل فنی، جغرافیایی، مدیریتی و حتی اقلیمی است. شناخت دقیق این عوامل، راه را برای انتخاب راهکارهای هدفمند باز می‌کند. با بهره‌گیری از طراحی بهینه، تجهیزات با کیفیت، فناوری‌های نوین و مدیریت هوشمند بار، می‌توان گام‌های مؤثری در جهت کاهش تلفات برداشت.

بخش سوم: روش‌های اندازه‌گیری و تحلیل تلفات در شبکه توزیع

کاهش تلفات در شبکه توزیع، بدون شناخت دقیق از وضعیت موجود و محل‌های اصلی اتلاف انرژی، عملاً امکان‌پذیر نیست. به همین دلیل، اندازه‌گیری و تحلیل تلفات، به‌عنوان گام نخست در برنامه‌ریزی بهینه‌سازی شبکه شناخته می‌شود. در این بخش، مهم‌ترین روش‌ها و ابزارهای تحلیل تلفات بررسی می‌شوند:

۱ .آنالیز تلفات با استفاده از فلو جریان توان(Load Flow Analysis)

تحلیل جریان بار (Power Flow Analysis) یکی از روش‌های کلاسیک و دقیق برای محاسبه تلفات در یک شبکه الکتریکی است. در این تحلیل، با استفاده از مشخصات فنی خطوط، ترانسفورماتورها و بارها، توزیع ولتاژها و جریان‌ها در گره‌های مختلف شبکه محاسبه می‌شود. سپس مقدار دقیق تلفات در هر بخش مشخص می‌گردد.

ویژگی‌ها:

- مناسب برای شبکه‌های شعاعی و حلقوی
- نیازمند داده‌های دقیق و مدل‌سازی کامل
- نتایج عددی دقیق از تلفات در خطوط و تجهیزات

نرم‌افزارهای مرتبط:

در زمینه تحلیل و کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع برق، نرم‌افزارهای مختلفی توسعه یافته‌اند که هر کدام قابلیت‌های تخصصی برای مدل‌سازی، شبیه‌سازی و بهینه‌سازی سیستم‌های قدرت دارند. در ادامه، چهار نرم‌افزار مطرح در این حوزه معرفی شده‌اند:

۱. DIgSILENT PowerFactory

- کاربردها :تحلیل پخش بار، اتصال کوتاه، پایداری گذرا، تلفات انرژی و بهینه‌سازی شبکه‌های توزیع و انتقال.
- ویژگی‌های مرتبط با تلفات:
  - محاسبه دقیق تلفات اکتیو و راکتیو در سطوح مختلف شبکه
  - امکان مدل‌سازی بارهای زمان‌متغیر
  - قابلیت بهینه‌سازی مکان و اندازه خازن‌ها و منابع تولید پراکنده (DG) برای کاهش تلفات
  - پشتیبانی از تحلیل هارمونیک‌ها و تاثیر آن‌ها بر تلفات

۲. ETAP (Electrical Transient Analyzer Program)

- کاربردها :طراحی، تحلیل و شبیه‌سازی سیستم‌های قدرت در صنایع و نیروگاه‌ها.
- ویژگی‌های مرتبط با تلفات:
  - ابزار تحلیل دقیق تلفات در شبکه‌های فشار متوسط و ضعیف
  - ماژول‌های اختصاصی برای تحلیل بهره‌وری انرژی
  - امکان تحلیل سناریوهای مختلف عملکردی (بارهای پیک، بهره‌برداری غیرعادی و...)
  - مدل‌سازی واقع‌گرایانه تجهیزات برای محاسبه دقیق تلفات

۳. NEPLAN

- کاربردها :تحلیل شبکه‌های برق شهری و روستایی، همچنین بهره‌برداری و برنامه‌ریزی توسعه شبکه.
- ویژگی‌های مرتبط با تلفات:
  - قابلیت شبیه‌سازی پخش بار در شرایط واقعی و محاسبه تلفات خط به خط
  - تحلیل تاثیر نصب بانک خازنی و DG در کاهش تلفات
  - ماژول مدیریت دارایی (Asset Management) برای بهینه‌سازی عملکرد شبکه و کاهش تلفات
  - پشتیبانی از تحلیل قابلیت اطمینان

CYME (CYMDIST).۴

- کاربردها :طراحی و تحلیل شبکه‌های توزیع برق به ویژه فشار ضعیف و متوسط.
- ویژگی‌های مرتبط با تلفات:
  - ابزار مخصوص برای محاسبه تلفات در سطوح مختلف شبکه
  - امکان مدل‌سازی دقیق بارها، ترانسفورماتورها، کابل‌ها و فیدرها
  - ابزارهای بهینه‌سازی برای کاهش تلفات از طریق مکان‌یابی و ظرفیت بهینه تجهیزات
  - تحلیل بارگذاری دینامیک و اثر آن بر تلفات

۲ .استفاده از سیستم‌های اندازه‌گیری هوشمند(AMI)

سیستم‌های AMI (Advanced Metering Infrastructure) یکی از ابزارهای مدرن برای اندازه‌گیری و پایش دقیق انرژی مصرفی هستند. این کنتورها، داده‌های مصرف را در فواصل زمانی کوتاه ثبت و به صورت لحظه‌ای به مرکز کنترل ارسال می‌کنند.

مزایا:

- شناسایی ناهنجاری‌های مصرف (نشت، برق‌دزدی(
- مقایسه مصرف اندازه‌گیری‌شده با انرژی تزریق‌شده به شبکه
- فراهم کردن داده برای تحلیل بار و تلفات در زمان واقعی

کاربرد:
تحلیل تلفات غیرفنی، پیش‌بینی بار، شناسایی مشترکین پرمصرف یا مشکوک

۳ .استفاده از داده‌های SCADA و سیستم‌های مانیتورینگ

سیستم‌های SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) اطلاعات لحظه‌ای مربوط به ولتاژ، جریان، توان و وضعیت تجهیزات را در اختیار اپراتور قرار می‌دهند. این داده‌ها منبع مناسبی برای تخمین تلفات فنی در سطوح مختلف شبکه هستند.

کاربرد:

- پایش عملکرد شبکه
- تحلیل تلفات نقطه‌ای و لحظه‌ای
- مدیریت بارگذاری و بالانس فازها
- تشخیص افزایش غیرعادی جریان‌ها

۴ .شبیه‌سازی شبکه با نرم‌افزارهای تخصصی

برای تحلیل دقیق‌تر، می‌توان مدل دیجیتال کامل شبکه را در نرم‌افزارهای تخصصی ایجاد کرد و سناریوهای مختلف بهره‌برداری را شبیه‌سازی نمود. این نرم‌افزارها قادرند تلفات را در شرایط مختلف بار، شبکه و تغییرات توپولوژی محاسبه کنند.

نرم‌افزارهای پرکاربرد:

- **DIgSILENT PowerFactory**: تحلیلی جامع با قابلیت مدل‌سازی پیچیده
- **ETAP**: محیط کاربرپسند، مناسب برای مطالعات توزیع
- **OpenDSS**: رایگان و متن‌باز، مناسب برای آنالیز در پروژه‌های تحقیقاتی
- **PSS®SINCAL** و **CYMDIST**: برای مطالعات دینامیکی و تلفات در شبکه‌های توزیع شهری

۵ .الگوریتم‌های داده‌کاوی و هوش مصنوعی

با رشد حجم داده‌های تولیدی از شبکه، استفاده از الگوریتم‌های داده‌کاوی و هوش مصنوعی برای تحلیل تلفات بسیار رایج شده است. این الگوریتم‌ها می‌توانند الگوهای پنهان، ناهنجاری‌ها یا نقاط پراتلاف را با دقت بالا شناسایی کنند.

تکنیک‌های پرکاربرد:

- الگوریتم‌های خوشه‌بندی (Clustering) برای گروه‌بندی رفتار مصرف‌کنندگان
- شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) برای پیش‌بینی تلفات
- درخت تصمیم و الگوریتم‌های طبقه‌بندی برای تشخیص سرقت انرژی
- الگوریتم‌های ژنتیک و PSO برای جایابی بهینه تجهیزات

۶ .روش‌های مقایسه انرژی تزریقی و مصرف‌شده

یکی از روش‌های ساده ولی کاربردی برای تخمین تلفات غیر فنی، مقایسه مقدار انرژی تزریقی به یک فیدر یا ترانس با مجموع مصرف مشترکین متصل به آن است. تفاوت بین این دو، نشان‌دهنده تلفات است (اعم از فنی و غیر فنی).

محدودیت:
در صورت عدم دقت کنتورها یا خطای اندازه‌گیری، ممکن است برآورد درستی ارائه نشود.

جمع‌بندی

روش‌های تحلیل و اندازه‌گیری تلفات، نقش کلیدی در تصمیم‌گیری‌های فنی و مدیریتی ایفا می‌کنند. از روش‌های سنتی مانند آنالیز فلو جریان گرفته تا ابزارهای پیشرفته نظیر هوش مصنوعی وAMI ، همگی به ارتقاء شفافیت و دقت در تشخیص نقاط پراتلاف کمک می‌کنند. انتخاب روش مناسب، بسته به سطح توسعه فناوری، بودجه، زیرساخت شبکه و اهداف شرکت توزیع، متفاوت خواهد بود.

بخش چهارم: راهکارهای کاهش تلفات در شبکه توزیع برق

با شناسایی منابع اصلی تلفات، گام بعدی اجرای راهکارهای مؤثر برای **کاهش این تلفات** است. این راهکارها ممکن است فنی، مدیریتی، فناورانه یا حتی اجتماعی باشند. در این بخش، به بررسی مهم‌ترین راهبردهای کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع برق می‌پردازیم:

۱ .بهینه‌سازی طراحی شبکه

یکی از مؤثرترین راهکارها، طراحی اصولی و علمی شبکه توزیع است. طراحی غیراصولی می‌تواند منجر به افزایش طول خطوط، بار نامتوازن و انتخاب نادرست ظرفیت تجهیزات شود که همگی در افزایش تلفات مؤثرند.

اقدامات:

- طراحی بهینه توپولوژی شبکه (مثلاً حلقوی کردن مسیرهای بحرانی(
- کاهش طول فیدرها با انتقال بار به پست‌های نزدیک‌تر
- انتخاب مناسب سطح مقطع هادی‌ها بر اساس بار و افت ولتاژ مجاز

۲ .نصب و جایابی بهینه ترانسفورماتورها

جایابی مناسب ترانسفورماتورها نقش مهمی در کاهش تلفات ایفا می‌کند. ترانس‌هایی که فاصله زیادی با بار دارند، موجب تلفات بالای خط می‌شوند.

راهکارها:

- انتقال بار از ترانسفورماتورهای پر بار به کم بار
- نصب ترانسفورماتورهای جدید در مراکز مصرف
- استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای جایابی دقیق

۳ .استفاده از تجهیزات کم‌تلفات

انتخاب تجهیزات با راندمان بالا (Low-Loss Equipment) در کاهش تلفات نقش کلیدی دارد. این موضوع به‌ویژه در ترانسفورماتورها، کابل‌ها و کلیدها اهمیت دارد.

اقدامات:

- جایگزینی ترانس‌های فرسوده با نمونه‌های کم‌تلفات
- استفاده از هادی‌های با کیفیت بالا و عایق تقویت‌شده
- استانداردسازی تجهیزات مورد استفاده در پروژه‌های توسعه شبکه

۴ .بالانس بار بین فازها

عدم تعادل بار بین فازها موجب افزایش جریان نول و تلفات ناخواسته می‌شود. بالانس‌سازی بار یکی از ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش‌ها برای کاهش تلفات است.

راهکارها:

- نصب دستگاه‌های اندازه‌گیری بار فازها
- جابجایی بار مشترکین تک‌فاز بین فازهای مختلف
- نصب کنترلرهای خودکار توزیع بار در پست‌های توزیع

۵ .استفاده از بانک‌های خازنی و اصلاح ضریب توان

بارهای راکتیو باعث افزایش جریان عبوری از شبکه و در نتیجه افزایش تلفات می‌شوند. اصلاح ضریب توان، جریان کل سیستم را کاهش داده و تلفات اهمی را نیز کم می‌کند.

اقدامات:

- نصب بانک‌های خازنی در نقاط مناسب شبکه
- استفاده از خازن‌های اتوماتیک قابل تنظیم(Automatic Capacitor Banks)
- پایش و تنظیم پیوسته ضریب توان به کمک کنتورهای هوشمند

۶ .اتوماسیون و هوشمندسازی شبکه توزیع

اتوماسیون شبکه و بهره‌گیری از کنتورهای هوشمند و سیستم‌هایSCADA ، امکان کنترل بلادرنگ، تحلیل تلفات و شناسایی ناهنجاری‌ها را فراهم می‌سازد.

مزایا:

- کشف سریع مناطق پرتلفات
- پیشگیری از سرقت انرژی با تحلیل الگوهای مصرف
- بهینه‌سازی پیکربندی شبکه به‌صورت خودکار

۷ .کاهش تلفات غیر فنی (برق‌دزدی)

سرقت برق یکی از چالش‌های اصلی شبکه‌های توزیع، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه است. مهار این مشکل نیازمند ابزارهای قانونی، فناوری و فرهنگ‌سازی است.

راهکارها:

- نصب کنتورهای غیرقابل‌دستکاری و مخفی
- پایش الگوهای مصرف مشکوک با الگوریتم‌های هوش مصنوعی
- همکاری با نیروهای انتظامی و اصلاح قوانین مرتبط با انشعاب غیرمجاز
- آموزش و فرهنگ‌سازی عمومی برای مشارکت مردم در جلوگیری از تلفات

۸ .نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه(PM)

بسیاری از تلفات ناشی از تجهیزات معیوب و فرسوده هستند. با اجرای برنامه‌هایPM ، می‌توان از بروز این تلفات جلوگیری کرد.

اقدامات:

- بازرسی دوره‌ای ترانس‌ها، کلیدها و کابل‌ها
- تست حرارتی (ترموگرافی) برای شناسایی نقاط داغ
- شست‌وشو و رفع آلودگی در تجهیزات پست‌ها و خطوط

۹ .استفاده از تولید پراکنده(Distributed Generation)

اتصال منابع تولید انرژی در نزدیکی محل مصرف، نه‌تنها قابلیت اطمینان شبکه را بالا می‌برد، بلکه موجب کاهش بار بر روی خطوط و کاهش تلفات می‌شود.

انواع منابع تولید پراکنده:

- نیروگاه‌های خورشیدی و بادی
- ژنراتورهای دیزلی کوچک
- میکروتوربین‌ها و سیستم‌هایCHP

۱۰ .آموزش و ارتقاء دانش فنی کارکنان

موفقیت هر طرح بهینه‌سازی در گرو داشتن نیروی انسانی توانمند است. آموزش مستمر کارکنان در زمینه طراحی، تحلیل، تعمیرات و بهره‌برداری، نقش کلیدی در کاهش تلفات دارد.

اقدامات:

- برگزاری دوره‌های آموزشی تخصصی
- اعزام کارشناسان برای بازدید از پروژه‌های موفق
- ایجاد واحدهای R&D در شرکت‌های توزیع برق

جمع‌بندی

کاهش تلفات شبکه توزیع برق یک پروژه یک‌روزه یا صرفاً فنی نیست، بلکه نیازمند **ترکیبی از اقدامات فنی، مدیریتی، آموزشی و فناورانه** است. با به‌کارگیری راهکارهای بالا، شرکت‌های توزیع می‌توانند تلفات را تا حد قابل توجهی کاهش داده و راندمان سیستم را ارتقا دهند. از سوی دیگر، این کاهش تلفات نه تنها صرفه‌جویی اقتصادی ایجاد می‌کند، بلکه در پایداری شبکه و حفاظت از منابع ملی نیز نقش حیاتی دارد.

بخش پنجم : تحلیل ظرفیت میزبانی (Hosting Capacity) با هدف مدیریت بهینه تلفات در شبکه توزیع:

یکی از ابزارهای نوین در تحلیل عملکرد فنی شبکه‌های توزیع، ارزیابی ظرفیت میزبانی منابع تولید پراکنده (Distributed Energy Resources - DERs) در نقاط مختلف شبکه است. این تحلیل با هدف تعیین حداکثر توان تولیدی قابل تزریق در هر نقطه از شبکه، بدون نقض قیود بهره‌برداری نظیر افت ولتاژ، اضافه‌بار تجهیزات، و برگشت توان به شبکه، صورت می‌گیرد. در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار DIgSILENT PowerFactory، تحلیل Hosting Capacity برای شبکه نمونه‌ای در فیدر آتشان از پست فیروزکوه انجام شده و نتایج آن به‌منظور ارزیابی وضعیت فنی و تلفات احتمالی شبکه مورد بررسی قرار گرفت.

اهداف تحلیل:

- شناسایی نقاط دارای ظرفیت محدود برای اتصال منابع DER به‌دلیل بارگذاری بالا یا افت ولتاژ
- استخراج رابطه میان سطح بارگذاری، ولتاژ کاری و قابلیت میزبانی تولید
- استفاده از نتایج برای برنامه‌ریزی توسعه شبکه و بهینه‌سازی تلفات فنی

نتایج نمونه از تحلیل Hosting Capacity:

ردیف	نام ترمینال	Max. active power (MW)	Max. reactive power (Mvar)	Max. loading %
۱	**Te**rminal_mv_isolator_8851403	3.6	1.74	79.48
۲	Terminal_mv_isolator_8838155	5.3	2.57	79.43
۳	Terminal_mv_isolator_8450	5.55	2.68	79.31

تحلیل فنی:

نتایج فوق نشان می‌دهد که ظرفیت قابل میزبانی در برخی نقاط شبکه، به‌ویژه در ترمینال‌هایی با بارگذاری بالا یا ولتاژ نامناسب، به‌شدت محدود است. این امر نشان‌دهنده‌ی وجود قیود فنی در ساختار موجود شبکه بوده که در صورت بی‌توجهی، می‌تواند منجر به افزایش تلفات اهمی، عدم پایداری ولتاژ، و در نهایت کاهش راندمان کلی سیستم گردد.

علاوه بر این، ظرفیت پایین میزبانی در برخی ترمینال‌ها می‌تواند شاخصی برای شناسایی نقاط بحرانی شبکه باشد، جایی که اعمال اصلاحات فنی (نظیر جایابی بهینه ترانسفورماتورها، تقویت خطوط یا نصب بانک‌های خازنی) می‌تواند به کاهش تلفات محسوس منجر شود.

بخش ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

نتیجه‌گیری

تلفات در شبکه توزیع برق یکی از مهم‌ترین چالش‌های فنی و اقتصادی صنعت برق است که تأثیر مستقیم بر بهره‌وری سیستم، هزینه‌های عملیاتی، پایداری شبکه و رضایت مشترکین دارد. در این مقاله، ابتدا به بررسی ماهیت و انواع تلفات (فنی و غیر فنی) پرداختیم و سپس مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش آن‌ها را شناسایی کردیم.

بررسی‌ها نشان داد که عواملی همچون طول خطوط، کیفیت تجهیزات، بارگذاری نامتعادل، محل قرارگیری ترانسفورماتورها، ضریب توان پایین، طراحی نامناسب شبکه، سرقت انرژی، و ضعف در سیستم‌های پایش و کنترل از اصلی‌ترین دلایل افزایش تلفات هستند. برای مقابله با این عوامل، راهکارهای متنوعی شامل اصلاح طراحی شبکه، استفاده از تجهیزات کم‌تلفات، نصب بانک‌های خازنی، اتوماسیون شبکه، هوشمندسازی و آموزش نیروی انسانی پیشنهاد شد.

در نهایت، مشخص شد که کاهش تلفات نه یک اقدام مقطعی، بلکه فرآیندی **پیوسته، چندبعدی و نیازمند نگاه سیستمی** است. تنها در صورت هم‌افزایی میان مهندسی دقیق، فناوری‌های نوین، مدیریت کارآمد و فرهنگ‌سازی عمومی، می‌توان به هدف کاهش پایدار تلفات دست یافت.

تحلیل ظرفیت میزبانی به‌عنوان یک ابزار مکمل برای مطالعات تلفات، این امکان را فراهم می‌سازد تا مهندسان توزیع با دید دقیق‌تری نسبت به وضعیت ولتاژ، بارگذاری، و قابلیت توسعه شبکه تصمیم‌گیری نمایند. ادغام نتایج این تحلیل با مطالعات فلو توان و اتصال کوتاه، رویکردی جامع برای مدیریت انرژی، افزایش بهره‌وری و کاهش تلفات فنی فراهم می‌کند

پیشنهادات کاربردی

بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، پیشنهادهای زیر برای شرکت‌های توزیع برق، نهادهای قانون‌گذار، مراکز پژوهشی و حتی عموم مردم ارائه می‌گردد:

برای شرکت‌های توزیع برق:

- پیاده‌سازی طرح جامع کاهش تلفات با هدف‌گذاری عددی (مثلاً کاهش سالانه ۱٪)
- توسعه زیرساخت‌های هوشمند(AMI) ، SCADA، GIS
- تدوین برنامه نگهداری پیشگیرانه تجهیزات به‌صورت نظام‌مند
- ارتقاء بانک اطلاعاتی تجهیزات و مصرف‌کنندگان برای تحلیل دقیق‌تر

برای نهادهای قانون‌گذار و وزارت نیرو:

- تدوین مشوق‌های مالی برای پروژه‌های کاهش تلفات (مثلاً تعرفه تشویقی برای کاهش مصرف یا اصلاح ضریب توان)
- تسهیل دسترسی شرکت‌های توزیع به فناوری‌های نوین با حمایت‌های مالی و قانونی

- تصویب قوانین بازدارنده در برابر انشعابات غیرمجاز و سرقت انرژی

برای مراکز دانشگاهی و تحقیقاتی:

- انجام پروژه‌های مشترک با صنعت برای توسعه الگوریتم‌های بهینه‌سازی تلفات
- آموزش نیروهای متخصص در حوزه تحلیل سیستم‌های قدرت و انرژی‌های تجدیدپذیر
- انتشار مدل‌های شبیه‌سازی رایگان برای استفاده شرکت‌های توزیع کوچک‌تر

برای عموم مردم:

- مشارکت در مدیریت بار مصرف، به‌ویژه در ساعات پیک
- استفاده از تجهیزات برقی با برچسب مصرف انرژی A و بالاتر
- گزارش موارد مشکوک به سرقت انرژی یا تجهیزات آسیب‌دیده

چشم‌انداز آینده

در آینده، با گسترش شهرهای هوشمند، خودروهای برقی، و انرژی‌های تجدیدپذیر، پیچیدگی شبکه‌های توزیع افزایش می‌یابد. در چنین شرایطی، کنترل و کاهش تلفات نیازمند استفاده از هوش مصنوعی، تحلیل داده‌های کلان، اینترنت اشیاء (IoT) و ساختارهای توزیع‌شده‌ی جدید مانند شبکه‌های ریزشبکه (Microgrid) خواهد بود. آمادگی برای این تغییرات، مستلزم سرمایه‌گذاری هم‌زمان در فناوری و نیروی انسانی است.

نتیجه نهایی

کاهش تلفات در شبکه توزیع، نه‌تنها به افزایش بازدهی اقتصادی و پایداری شبکه کمک می‌کند، بلکه به‌مثابه گامی مؤثر در جهت عدالت اجتماعی، حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار نیز شناخته می‌شود. امروز آغاز کنیم، فردا دیر است.

منابع

۱. شرکت توانیر .*گزارش عملکرد کاهش تلفات انرژی الکتریکی در شبکه‌های توزیع برق کشور* .تهران: معاونت بهره‌برداری، ۱۴۰۲.

۲. IEEE Std 738-2012. *IEEE Standard for Calculating the Current-Temperature Relationship of Bare Overhead Conductors*. IEEE Power & Energy Society.

۳. Gonen, Tamer. *Electric Power Distribution System Engineering*. 3rd Edition. CRC Press, 2014.

۴. "تحلیل فنی-اقتصادی روش‌های کاهش تلفات در شبکه‌های توزیع برق ".*فصلنامه مهندسی برق و قدرت ایران*، سال ۱۳۹۹. حمیدزاده، محمد و همکاران.

۵. .*اصول طراحی شبکه‌های توزیع برق* .انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۷. محمودیان، سعید

۶. شرکت مدیریت شبکه برق ایران .*اطلس آماری صنعت برق ایران* .تهران: دفتر مطالعات و برنامه‌ریزی، ۱۴۰۱.

۷. Ali, S., & Khalid, A. (2018). "Loss Reduction in Electrical Distribution Networks Using Network Reconfiguration." *Energy Reports*, Vol. 4, pp. 200–209.

۸. Abed, M., et al. (2021). "Smart Grid Solutions for Energy Loss Minimization in Distribution Systems." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 135, 110220.

۹. شرکت برق منطقه‌ای تهران .*دستورالعمل تحلیل و پایش تلفات در شبکه‌های فشار متوسط* .۱۴۰۰.

۱۰. . "بررسی تطبیقی تلفات فنی و غیر فنی در شبکه‌های توزیع شهری و روستایی ".*نشریه تحقیقات برق و انرژی ایران*، شماره ۳۶، ۱۴۰۰. چیت‌ساز، سهراب

ارتباط با کهربا

متخصصان و مهندسین گران‌قدر می‌توانند از طریق آدرس سایت مجله www.kahrobaonline.ir سایر اطلاعات مجله ازجمله نحوه ارسال مقالات جهت انتشار در نشریه و نیز فرم اشتراک مجله را دریافت کنند. همچنین به اطلاع می‌رسانیم طی توافق صورت گرفته بین پایگاه علمی‌سیویلیکا و مجله کهربا ازاین‌پس به مقاله برتر هر شماره یک کارت اشتراک رایگان دانلود از این پایگاه هدیه داده می‌شود.

ایمیل مجله kahroba@noandishaan.com پل ارتباطی ما با مهندسین و متخصصین می‌باشد، لطفاً ما را از پیشنهادها و انتقادات ارزشمند خود بهره‌مند سازید. جهت حمایت‌های مالی و معنوی از نشریه و یا معرفی محصولات خود نیز می‌توانید از طریق همین ایمیل با ما در ارتباط باشید.

Dynamic control of BLDC motor speed using a fuzzy controller optimized with Shahin Harris algorithm based on finite element model

Ehsan Ghanavati — Master's degree student in Electrical Engineering, Hoveizeh Martyrs Industrial Campus, Shahid Chamran University of Ahvaz

, ehsan1.ghanavati@yahoo.com

Mahmood Moghadasian — Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Hoveizeh Martyrs Industrial Campus, Shahid Chamran University of Ahvaz

m.moghadasian@scu.ac.ir

Abstract: In this paper, a method for controlling the speed of a Brushless DC (BLDC) motor using a six-switch inverter drive is presented. To control the motor's dynamic behavior—including speed, current, and torque—both PID and fuzzy controllers are employed. The parameters of these controllers are optimized using the Harris Hawks Optimization (HHO) algorithm, selected for its high convergence speed and accuracy in solving optimization problems.

To evaluate the performance of the controllers and the proposed algorithm, simulations were conducted in the **Simulink environment of MATLAB** using the **ITAE (Integral of Time-weighted Absolute Error)** as the objective function. The results of the **PID and fuzzy controllers optimized with GWO (Grey Wolf Optimizer), TLBO (Teaching-Learning-Based Optimization), and HHO** algorithms were compared.

The simulation results demonstrate that the **fuzzy controller optimized with HHO** outperforms the other methods in terms of faster dynamic response, lower error, and improved stability. Furthermore, to validate the MATLAB simulation results, the motor was also modeled and analyzed using **Finite Element Method (FEM)** in **ANSYS/Maxwell**, confirming the consistency and accuracy of the proposed approach.

Keywords: BLDC motor, fuzzy controller, Shahin Harris algorithm

Analyzing and optimizing the performance of smart power grids using machine learning algorithms: Challenges and new solutions

Alireza Joshan

Master of Science in Electrical Power Engineering,Specialization in Power Electronics and Electric Machines,University of Guilan,Guilan,Iran

Alireza.joshan.guilan@gmail.com

Abstract

Smart grids are increasingly being developed and deployed as a new solution for energy management and distribution in the digital age. This review article analyzes and investigates the performance of smart grids and the role of machine learning algorithms in optimizing this performance. First, the structure and main components of smart grids, including sensors, control systems, and communications, are introduced. Then, key challenges in these grids, including load management, integration of renewable energy sources, and maintaining cybersecurity, are examined. This article reviews various types of machine learning algorithms, including supervised and unsupervised learning, and their applications in load forecasting, demand management, and anomaly detection.Experimental results from implementing these algorithms in smart grids show significant improvements in efficiency and cost reduction. Finally, this paper addresses the challenges in implementing machine learning algorithms in smart grids, including the need for high-quality data, privacy and security issues, and the need for appropriate infrastructure. It also provides suggestions for future research and innovative solutions to improve the performance of smart grids. As a comprehensive resource for researchers and professionals in the fields of energy and information technology, this paper reviews current and future trends in this field and emphasizes the importance of collaboration between different sectors of industry and academia in the development and optimization of smart grids.

Keywords: Smart power grids, machine learning, performance optimization, load forecasting, cybersecurity

Artificial Intelligence Model for Improving CH Selection in WSNs: Optimizing Energy Consumption and Extending Network Lifetime with RDA Algorithm

Tahereh javanmardi Department of Computer Engineering, Fir.C., Islamic Azad University, Firoozabad, Iran, th.javanmardi57@gmail.com

Musa mojarad Department of Computer Engineering, Fir.C., Islamic Azad University, Firoozabad, Iran, musa.mojarad@iau.ac.ir

Abstract

This paper investigates an energy-efficient cluster head selection method using an improved version of the RDA algorithm. This algorithm considers parameters such as sink distance, residual energy, and average intra-cluster distance, and provides multi-hop features to improve the lifetime of wireless sensor networks. The fitness function is designed based on the residual energy of nodes and their Euclidean distance to the base station. The obtained results show the superior performance of this method compared to other algorithms. In the initial stage (0 to 5000 rounds), there are no dead nodes, indicating optimal energy consumption. In the middle stage (5000 to 7000 rounds), although the number of nodes decreases, this decrease is slower than other algorithms. In the final stage (after 7000 rounds), the number of live nodes remains higher than other methods, which indicates the ability of this algorithm to maintain the network lifetime. Finally, this method shows an improvement of approximately 20% in network lifetime and 381.44% overall improvement over existing algorithms, which confirms its efficiency and effectiveness in energy management and increasing the lifetime of wireless sensor networks.

Keywords: Cluster head selection, energy efficient, RDA algorithm, network lifetime, energy management.

Improving efficient face recognition with the help of hybrid optimization algorithms BRO-GOA and deep convolutional neural network

Masoumeh Zamanipour Department of Computer Engineering, Fir.C., Islamic Azad University, Firoozabad, Iran, Masomehzamani61@gmail.com

Mohammad nabi omidvar Department of Computer Engineering, Fir.C., Islamic Azad University, Firoozabad, Iran, mo.omidvar@iau.ac.ir

Abstract

Face recognition technology, with its promising prospects, faces some limitations in the face of challenges such as posture changes, partial occlusion, expression changes, illumination, and side data. This research introduces a hybrid optimization algorithm of BRO-GOA and deep convolutional neural network to increase the accuracy and efficiency of face recognition in noisy environments. The main goal of this paper is to develop an optimization-based deep learning approach for face image recognition that is capable of processing complex and noisy data. The Battle Royale Optimization Algorithm (BRO) and Type II fuzzy system are used in this model to remove noise and improve post-processing. The results of comparative analysis show that the proposed model has the highest accuracy in all values of LFW training data and its accuracy improves from ۰,۹۱٦٥to ۰,۹۷٤۳with increasing data. Compared to other models, this method shows a significant reduction in the false acceptance error rate (FAR) from ۰,٤۸to ۰,۱۸and the false rejection error rate (FRR) from ۰,۱۷٥to ۰,۰۷۲. The proposed model also has a significant performance improvement at all illumination angles, especially at ۰and ۲۰degrees with accuracies of ۰,۹۲۹۳and ۰,۹٤۰۳. These results indicate greater stability and better performance of this model than other methods in variable conditions and noisy environments. Finally, the proposed method with high accuracy and optimal performance is a good choice for real-world applications of face recognition in complex environments.

Keywords: Face Recognition, Optimization Algorithm, Convolutional Neural Network, Battle Royale Optimization, Accuracy

The role of artificial intelligence in detecting intrusions in security systems

Shahab Torki Computer Engineering Student, Shahrekord National University of Skills

shahab.torki1383@gmail.com

Ehsan Soleymani PhD student in Computer Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Meybod Branch

, ehsan.soeimani@maybodiau.ac.ir

Abstract

The role of AI in cybersecurity and the detection of threats such as intrusion attacks, malware and phishing has been explored. This technology helps automatically block attacks and strengthen protection by analyzing abnormal behavior, network traffic and detecting suspicious patterns. application examples include intrusion detection systems, banking transaction analysis, and deceptive content detection. Ultimately, AI plays a significant role in enhancing cloud security and responding quickly to threats, and the future of cybersecurity is conceivable with the development of this technology.

Keywords: Cybersecurity, intrusion detection, security systems, user behavior analysis, malware detection

Comprehensive analysis of losses in the electricity distribution network and solutions to reduce them

Yousef Jafarnejad
Master of Science in Electrical Power Engineering, Islamic Azad University, Islamshahr Branch
, Iran, Uosefja@yahoo.com

Alireza Abbasi
Master of Science in Electrical Power Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch
alliireza@yahoo.com

Abstract: Electricity distribution networks play a vital role in transmitting electrical energy from substations to end consumers. Along the way, some energy is lost due to technical and non-technical reasons, which not only reduces system efficiency but also increases production and distribution costs. Power distribution network losses are a major challenge in the electricity industry, especially in developing countries, where the loss rate may reach more than 20%.
In this article, first, the types of losses in the distribution network, including technical and non-technical losses, are categorized and analyzed. Then, the factors affecting the occurrence of these losses are examined from technical, managerial, and geographical aspects. Next, various methods of measuring and analyzing these losses are introduced using modern technologies such as smart metering systems, software simulation, and artificial intelligence algorithms. A major part of the article is devoted to examining loss reduction strategies, which include reforms in the network structure, the use of high-quality equipment, consumption management, and combating electricity theft.

Keywords: Distribution network losses, technical losses, non-technical losses, loss reduction, electricity theft, flow analysis, intelligent metering system (AMI), artificial intelligence algorithms, distribution network optimization, load management, capacitor bank, optimal transformer placement